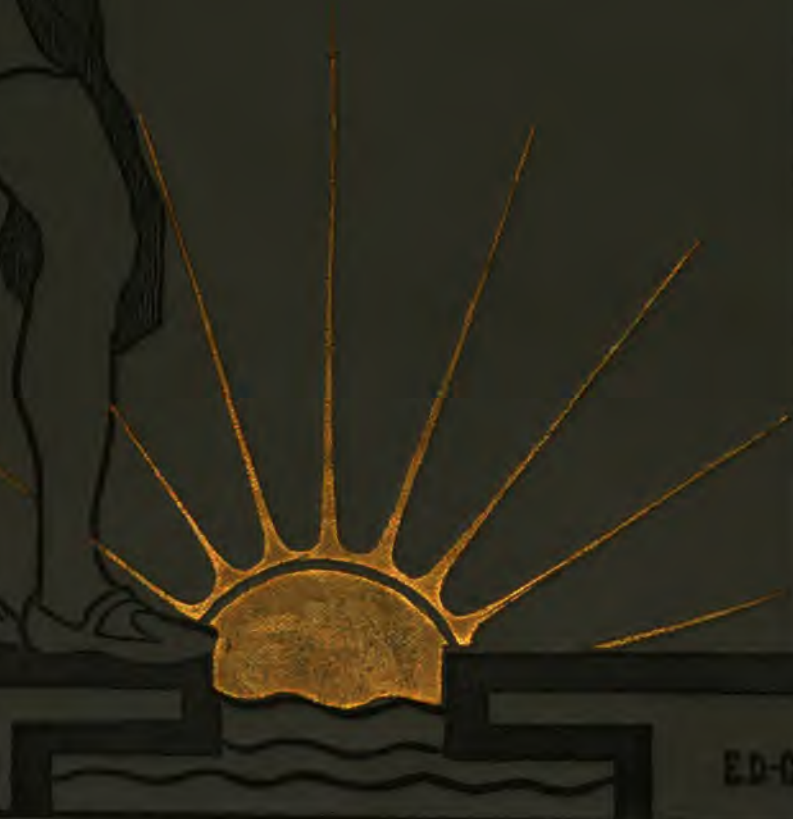
LA

TELEGRAFIA SENZA FILO

DI

A. RIGHI e B. DESSAU

ED-G.

LA TELEGRAFIA SENZA FILO

DI

AUGUSTO RIGHI

PROFESSORE ORDINARIO DI FISICA NELLA R. UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

E

BERNARDO DESSAU

LIBERO DOCENTE E ASSISTENTE DI FISICA NELLA STESSA UNIVERSITÀ

Con 259 figure intercalate nel testo

BOLOGNA

DITTA NICOLA ZANICHELLI

1903

TK5741
R5
1903

PREFAZIONE

Il presente libro sulla telegrafia senza filo non è, nè aspira ad essere, un trattato scientifico. Esso è stato scritto dietro invito rivolto agli autori dagli Editori Zanichelli di Bologna e Vieweg di Braunschweig, col solo intento di offrire ad ogni lettore, non privo di generale cultura, una nozione abbastanza completa delle basi scientifiche, su cui riposa la nuova applicazione delle onde elettriche realizzata da Guglielmo Marconi, e dei prefezionamenti successivi, che con sagacia notevolissima vennero introdotti nei metodi e negli strumenti per essa adoperati, dallo stesso Marconi e da altri, mano a mano che le prove pratiche ne additarono la necessità.

La telegrafia per mezzo delle onde elettriche costituisce una delle più notevoli applicazioni di fatti e apparecchi conosciuti, una geniale traduzione nel campo pratico e industriale, di esperienze, che potevano sembrare relegate nel dominio della scienza pura e della speculazione fisolofica.

I risultati, che già con essa si ottennero, sono di tale natura da colpire l'imaginazione; ciò che spiega come la nuova applicazione abbia sin dai primi tentativi richiamato la generale attenzione, ed eccitata la legittima curiosità anche

di coloro, che non sono in grado di comprendere la sua giusta portata, e forse neppure i principî sui quali si fonda.

Il presente libro vorrebbe porre riparo a tali deficienze, ed è perciò più specialmente dedicato alle persone colte, che pur non avendo dimenticate le nozioni fondamentali della fisica, non ebbero tempo od occasione di seguire il rapido sviluppo che, specialmente sotto l'impulso della grandiosa opera del Maxwell, e delle ricerche dovute al genio di Hertz o compiute da coloro che camminarono sulle traccie di questo fisico insigne, la scienza dei fenomeni elettrici in questi ultimi anni ha conseguito.

Per potere raggiungere lo scopo prefisso, una porzione non piccola del libro, e cioè la Parte Prima, ha dovuto essere consacrata ad un rapido richiamo dei principî dell'Elettrologia, senza del quale la lettura della Parte Seconda, che riguarda la produzione e lo studio delle onde elettriche, sarebbe riescita per molti difficile od oscura. Solo dopo tale preparazione, della quale tuttavia molti potranno dispensarsi, troverà il Lettore nella Parte Terza svolto l'argomento, che forma lo scopo principale del libro.

A rigore di termini il titolo, che ad esso fu imposto, richiederebbe, che in esso si fosse trattato, non solo della telegrafia colle onde elettriche, ma d'ogni altro sistema di produzione di segnali a distanza, pel quale non sia necessario l'impiego di un filo conduttore congiungente le due stazioni. Ma fra questi sistemi alcuni, come la telegrafia ottica, sembrarono troppo conosciuti, altri apparvero d'importanza troppo limitata, o basati su fenomeni d'indole troppo diversa da quella dei fenomeni elettrici; di essi non si è quindi tenuto conto.

Ma non così si è fatto pei sistemi di telegrafia senza filo, i quali, pur non impiegando onde elettriche propriamente dette, si valgono di altri fenomeni elettrici, come l'induzione o la conduzione. La descrizione di essi ha anzi costituito il

primo capitolo della parte terza, formandone quasi un'opportuna introduzione storica.

Di altri sistemi recentissimi di telegrafia senza filo, o in generale di produzione a distanza di segnali o di suoni, i quali sono fondati su certi effetti elettrici prodotti dalle radiazioni, si è pure largamente trattato, non solo per l'interesse pratico che verosimilmente potranno acquistare, ma anche per la singolarità dei fenomeni su cui si fondano, e per l'ingegnosità colla quale questi fenomeni furono utilizzati. La loro descrizione ha costituito la Quarta ed ultima Parte del libro.

Si comprende facilmente, che la compilazione della Parte Terza di questo libro richiedeva la lettura preventiva di un grandissimo numero di recenti pubblicazioni, e dei molti brevetti presi in questi ultimi tempi da vari inventori. Senza di ciò non sarebbe stato possibile l'assegnare ad ogni autore la priorità meritata.

Il cómpito era dunque assai laborioso, ed il lettore terrà conto delle molte difficoltà che dovevano superarsi, fra le quali quella dipendente dal fatto, che non di rado qualche inventore di professione ottiene brevetti per metodi o strumenti già noti nella scienza, qualche volta dopo avervi introdotto tutt'al più delle piccole modificazioni. La legislazione della maggior parte delle nazioni civili rende possibile un tale stato di cose, che, mentre appare non conforme a giustizia, sembra, come scrisse il professor Lodge, combinato a bella posta per distogliere chi per puro ardore scientifico si occupa di ricerche sperimentali, dal rivolgere il pensiero alle possibili applicazioni dei suoi trovati, onde non essere costretto a differirne la pubblicazione, e andare incontro così a varî inconvenienti, fra i quali quello di ritardare i progressi scientifici, che da quei trovati altri sperimentatori avebbero potuto con ulteriori studi eventualmente ricavare.

Come è naturale, pur avendo diviso fra noi il lavoro di redazione, ciascuno ha dovuto curare in special modo l'edizione fatta nella propria lingua nativa; ma ciò nonostante ognuno ha scrupolosamente rispettato i concetti e le opinioni dell'altro. Ciascuno di noi rimane quindi responsabile da solo di quanto ha scritto, come del resto si rileva dalla firma apposta ad ogni singolo capitolo, di fronte ad ogni possibile commento.

Settembre, 1902.

GLI AUTORI.

INDICE

PARTE PRIMA

I fenomeni elettrici.

CAP. I. — **Il campo elettrico.**

CAP. II. — **Le correnti elettriche costanti.**

CAP. III. — **Il campo magnetico.**

Cap. IV. — Lo stato variabile della corrente.

PARTE SECONDA

Le onde elettromagnetiche.

Cap. I. — Le oscillazioni elettriche.

Cap. II. — Le onde elettriche.

Cap. III. — I radioconduttori.

PARTE TERZA

La telegrafia elettrica senza filo.

Cap. I — Telegrafia per conduzione, per influenza elettrostatica e per induzione.

Cap. II. — La telegrafia colle onde elettriche.

Cap. III. — Gli apparecchi della telegrafia senza filo fra due stazioni.

Cap. IV. — La telegrafia senza filo multipla e sintonica.

PARTE QUARTA

Telegrafia senza filo mediante le radiazioni luminose o le ultraviolette.

Cap. I. — Telegrafia senza filo mediante le radiazioni ultraviolette.

Cap. II. — **Riproduzione dei suoni a distanza per mezzo della luce.**

APPENDICE

PARTE PRIMA

I FENOMENI ELETTRICI

CAPITOLO I

Il campo elettrico.

1. **Fenomeni fondamentali**. — Nessuna scienza mostra forse colla massima evidenza, come la scienza elettrica, la verità dell'asserto spesso ripetuto, che ogni nuovo progresso è causa e motivo di numerosissimi progressi ulteriori, tanto che la scienza stessa si amplifica e si perfeziona con celerità sempre crescente. Invero, nella storia della scienza elettrica si notano certe tappe successive, caratterizzate da qualche scoperta di fondamentale importanza, in seguito alla quale, non solo essa acquistò un maggiore sviluppo arricchendosi di nuovi fatti o di leggi più comprensive, ma restò abbreviata la tappa successiva verso una nuova scoperta.

Da ciò la conseguenza, che negli ultimi tempi le conquiste effettuate nel campo dei fenomeni elettrici, furono così svariate ed importanti, che anche fra le persone più colte, ma che non si dedicarono in ispecial modo allo studio di quei fenomeni, poche se ne trovano, che possano senz'altro essere in grado di ben comprendere in che consistano le ondulazioni elettriche, e le applicazioni alle quali in questi ultimi tempi hanno condotto. Una breve descrizione dei fatti ed una esposizione delle loro leggi ha dunque qui la sua ragione di essere.

Quando si dice che un corpo è in *istato elettrico* o semplicemente è *elettrizzato*, s'intende esprimere che, in seguito a

speciali processi, ha acquistato certe proprietà, e cioè attira dei corpi leggieri, determina la produzione dello stato elettrico nei corpi circostanti, etc.

Uno dei mezzi, conosciuto da oltre 25 secoli, atto a produrre nei corpi lo stato elettrico, è quello di strofinarli fra loro. L'ambra, dal cui nome greco si derivò il vocabolo *elettricità*, strofinata che sia, attira i corpi leggieri, come le pagliuzze, i frammenti di carta, etc., o più comodamente una pallina leggiera, generalmente di midollo di sambuco, sospesa per mezzo d'un filo di seta, che costituisce il più semplice *elettroscopio*, chiamato *pendolo elettrico* (fig. 1). Il vetro, lo zolfo, le resine, etc., si comportano come l'ambra. Certi corpi, come i metalli, il legno, etc. sembrarono per un certo tempo refrattari all'elettrizzazione; ma si comprese poi che ciò era conseguenza del possedere essi in grado elevato una proprietà generale detta *conduttività*.

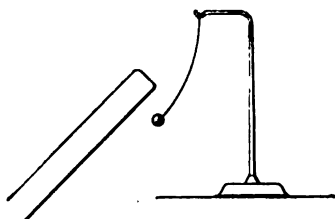



Fig. 1

La scoperta di questa proprietà, fatta dal Gray, è una di quelle che segnano un'epoca nella storia della scienza elettrica. La *conduttività elettrica* di un corpo è la proprietà per la quale lo stato elettrico si comunica dalle parti, in cui collo strofinamento o in altro modo fu provocato, alle altre parti del medesimo corpo. Questo estendersi dello stato elettrico è rapidissimo, istantaneo quasi, nei metalli; lentissimo e quasi inavvertibile nel vetro, nello zolfo, etc. I metalli si dicono perciò *buoni conduttori* o semplicemente *conduttori*; gli altri corpi nominati diconsi *cattivi conduttori* o *coibenti*, o meglio ancora *dielettrici*.

Nei conduttori, a differenza dei coibenti, lo stato elettrico non si manifesta dunque solo nelle parti del corpo che furono strofinate, ma anche nelle parti che non furono toccate; questo

estendersi dello stato. elettrico è però a scapito dell' intensità degli effetti prodotti, tanto che se, per esempio, si pone in contatto del conduttore elettrizzato un altro conduttore, in modo che anche a questo si comunichi lo stato elettrico già esistente nel primo, la proprietà elettrica del primo conduttore si mostra tosto come affievolita, in quanto che non attrae più che corpi o più leggeri o più vicini, in confronto di prima.

Siccome poi il corpo umano, i materiali formanti i nostri edifizî, l' acqua e la maggior parte dei corpi costituenti il nostro globo, dal punto di vista dei fenomeni di cui ora si tratta, possono considerarsi quali corpi conduttori, facilmente si spiega come per molto tempo non si seppero *elettrizzare* i metalli e gli altri conduttori. Ecco come. Un pezzo di metallo tenuto nella mano e strofinato, acquista lo stato elettrico; ma questo stato elettrico si estende tosto al corpo dello sperimentatore, al pavimento e quindi può dirsi all' intero globo terrestre, e resta nel corpo così affiievolito, da non aversene nessuna sensibile manifestazione. Ma se si separa il metallo dalla mano e dagli altri conduttori per mezzo d' un corpo cattivo conduttore o *coibente*, che per l' ufficio, che in tal caso compie, può chiamarsi un *isolatore*, lo stato elettrico prodotto collo strofinamento si manifesterà tosto, per esempio, colla attrazione del pendolo elettrico, o per mezzo di qualsiasi altro elettroscopio.

L' aria atmosferica e gli altri gas nelle condizioni delle attuali esperienze si comportano come isolanti. La cosa è evidente per l' aria, giacchè, se così non fosse, non sarebbero possibili i fenomeni descritti. Non sempre un corpo elettrizzato attira un corpo mobile: può darsi che invece lo respinga. Invero, col ripetersi delle semplici esperienze descritte si scoprì, che quando il corpo mobile sia stato a contatto col corpo elettrizzato, e cioè quando entrambi i corpi sieno in istato elettrico, essi mostrano una mutua ripulsione.

Questa ripulsione fra due corpi elettrizzati trova un' imme-

diata applicazione nell' elettroscopio a foglie d' oro (fig. 2), il quale consiste in una sbarretta metallica verticale, a cui sono sospese due leggiere striscie di foglia d' oro, la quale penetra in parte entro una scatola a pareti di vetro, facente il doppio ufficio di sostegno e di riparo contro le correnti d' aria. Basta strofinare l' asticella con un panno, perchè si elettrizzi insieme colle foglie d' oro, e queste respingendosi reciprocamente si aprano, assumendo direzioni inclinate in sensi opposti.

Fig. 2.

Un' altra epoca importante nello sviluppo della scienza elettrica è segnata dalla scoperta di Du Fay. Questo fisico dimostrò che due corpi, entrambi in istato elettrico, possono attirarsi reciprocamente anzichè respingersi, di guisa che un dato corpo elettrizzato può essere attratto come può essere respinto da un secondo corpo esso pure in istato elettrico. Se, per esempio, dopo aver toccato il pendolino con un bastone di resina strofinato colla lana, ed avere constatato che il pendolino è respinto, in causa dell' essersi ad esso comunicato lo stato elettrico della resina, si accosta

ad esso un bastone di vetro strofinato nello stesso modo, si vede subito che questo corpo attira il pendolo anzichè respingerlo. Lo stato elettrico del vetro non è dunque identico a quello della resina.

I due stati elettrici mostrano dunque un certo antagonismo, che meglio risulta dalla seguente considerazione. Si supponga di toccare col vetro strofinato il pendolino, che era stato toccato già dalla resina, o in generale di toccare successivamente un qualunque conduttore isolato con quei due corpi elettrizzati. È facile constatare, che lo stato elettrico del conduttore è allora in certo modo intermedio a quelli, che in esso si produrrebbero toccandolo o solo coll'uno o solo coll'altro dei due corpi elettrizzati. Anzi può darsi che, dopo i due contatti, il corpo conduttore si trovi allo stato naturale, cioè non elettrizzato, vale a dire può accadere che il secondo contatto distrugga lo stato elettrico, che il conduttore aveva acquistato col primo.

I due stati elettrici sembrano dunque addizionarsi come nell'algebra le quantità di segni contrari. Di qui la convenienza d'indicare uno degli stati elettrici (e precisamente quello che nelle condizioni ordinarie assume il vetro strofinato colla lana) come stato *positivo*, e l'altro come *negativo*.

2. **Legge di Coulomb**. — Ma un passo in avanti d'importanza grandissima fu fatto fare alla scienza elettrica dal fisico francese Coulomb, allorchè con pazienti esperienze riescì a misurare le forze elettriche e a scoprirne la legge. Le più semplici esperienze già avevano mostrato, che la forza esistente fra due corpi elettrizzati diminuisce, aumentando la distanza che li separa; ma ciò non bastava per potere applicare allo studio dei fenomeni le risorse del calcolo, e bisognava conoscere con qual legge la forza variava al variare della distanza. La legge trovata dal Coulomb fu la stessa ben nota, che il grande Newton aveva formulato per la gravitazione; e cioè la forza è

diretta secondo la retta, che congiunge i due corpi (supposti di piccole dimensioni), e varia in ragione inversa del quadrato della loro distanza. Di modo che, quando la distanza fra due corpi elettrizzati viene raddoppiata, triplicata, etc., la forza, che fra essi si manifesta, diventa la quarta parte (4 è eguale a 2 moltiplicato 2 ossia al quadrato di 2), la nona parte (9 è eguale al quadrato di 3), e così di seguito. Questa forza è poi attrattiva o ripulsiva, ossia, tende ad avvicinare fra loro i due corpi, oppure ad allontanarli l'uno dall'altro, secondo che i loro stati elettrici sono opposti, o dello stesso nome, come risultò dalle esperienze sopraccennate di Du Fay.

La cognizione della legge di Coulomb permise inoltre d'introdurre nella scienza il concetto di misura per gli stati elettrici dei corpi, o come si suol dire il concetto di *quantità di elettricità*. Questo concetto non è legato, come a prima giunta potrebbe sembrare, a nessuna opinione relativa all'intima natura dei fenomeni elettrici. Si è semplicemente convenuto di dire, che se un corpo A attira o respinge un determinato ed invariabile corpo elettrizzato B, una volta con una certa forza, e un'altra volta con una forza doppia, restando nei due casi la stessa la posizione reciproca dei corpi A e B, nel secondo caso il corpo A *possiede* una *quantità di elettricità* doppia di quella posseduta nel primo caso.

Accettata questa definizione per la *quantità di elettricità* si potrà dire, che la forza esistente fra due corpi elettrizzati è proporzionale alle *quantità di elettricità* possedute dai due corpi ed in ragione inversa del quadrato della distanza. Coll'applicazione dei segni algebrici alle due specie di stato elettrico questo enunciato resta vero, tenuto conto della nota regola della moltiplicazione, qualunque sieno gli stati elettrici dei due corpi. Si diranno eguali in valore assoluto due cariche di specie contrarie, allorchè, comunicate ad uno stesso conduttore, lo lasciano allo stato neutro. Le cariche eguali in

valore assoluto ma di segno diverso diconsi anche *equivalenti;* sopra un dato corpo elettrizzato posto a determinata distanza esse producono forze eguali e di direzioni opposte. Tali sono le cariche di nome contrario che acquistano due corpi, che vengano fra loro strofinati; giacchè anche il corpo strofinante si elettrizza, e sempre di elettricità contraria a quella del corpo strofinato.

. Si usano spesso i vocaboli di *massa elettrica* o quelli di *carica elettrica*, in luogo di *quantità di elettricità*, sempre però senza nulla pregiudicare circa la natura dei fenomeni elettrici.

Si comprende poi facilmente come si sia liberi di scegliere una qualsiasi unità di misura per le quantità di elettricità, in modo da potere esprimere con numeri le *cariche* dei corpi elettrizzati. Fra le varie unità proposte quella in uso nella pratica delle applicazioni elettriche ha ricevuto il nome di *Coulomb.*

Una volta prodotto lo stato elettrico nei corpi, esso si conserva per un certo tempo, ma non indefinitamente. Ha luogo cioè una sparizione più o meno lenta delle cariche elettriche, che si chiama *dispersione*, ed i corpi finiscono col tornare nelle condizioni naturali, ossia nello stato *neutro.* Ma questa dispersione, per quanto sia impossibile impedirla in modo completo, costituisce un fenomeno a parte, e si può con mezzi opportuni attenuare grandemente. ,Si semplifica la studio dei fenomeni facendo astrazione dalla dispersione, ossia supponendo invariabile lo stato elettrico una volta prodotto. Il caso reale, per esperienze di non troppo lunga durata, differisce poco dal caso ideale di niuna dispersione, e quanto si può prevedere non tenendo conto di questa, rimane utilissimo.

Considereremo dunque ora come invariabile lo stato elettrico dei corpi, cosicchè nulla varierà coll'andar del tempo, se inoltre i corpi saranno immobili. In questa ipotesi oltre all'equilibrio meccanico esiste dunque l'*equilibrio elettrico*, le forze, che si manifestano, restano invariate, ed il *campo elettrico*, cioè tutto lo

spazio che circonda i corpi elettrizzati, ed in cui si manifestano i fenomeni elettrici, è esso pure costante. Anzi, per rendere conto dei fenomeni relativi a questo stato invariabile, che diconsi fenomeni *elettrostatici*, si usa considerare la *forza elettrica in un punto qualunque del campo*, la quale non è altro che la forza, che si manifesterebbe in quel punto, qualora vi si ponesse una unità di elettricità positiva, supposto che con ciò nessuna variazione accadesse nel campo elettrico. Questa forza varierà in generale di grandezza e di direzione passando da un punto ad un altro del campo elettrico.

3. **Distribuzione dell'elettricità.** — Poichè nei conduttori lo stato elettrico non resta localizzato là dove venne prodotto. sorge spontaneo il desiderio di sapere, se esso si manifesti con diversa intensità nelle varie parti del conduttore. I calcoli basati sulla legge di Coulomb, e le esperienze di conferma stabilirono, in pieno accordo fra loro, delle regole relative a questa distribuzione dello stato elettrico, o, come si suol dire, della carica elettrica, nei conduttori.

Prima di tutto rimase stabilito, che la carica elettrica di un conduttore esiste soltanto nella sua superficie esterna, è cioè che nè nelle superfici interne, se il conduttore ha delle cavità, nè nella massa del conduttore si ha mai la menoma manifestazione elettrica. Ciò si esprime dicendo che l'*elettricità si porta alla superficie esterna del conduttore.*

Circa poi al modo nel quale lo stato elettrico si manifesta nelle varie parti della superficie del conduttore, i risultati ottenuti possono esprimersi in modo semplice soltanto in pochi casi speciali. È comodo introdurre, come fece il Coulomb, il concetto di *densità elettrica.* Si dà questo nome al rapporto fra la quantità di elettricità esistente in una porzione piccolissima della superficie del conduttore, all'area della porzione stessa; o, se si

vuole, la *densità* è la carica nella parte di superficie considerata per unità di area.

Il caso più semplice, che si possa presentare, è quello nel quale il conduttore è limitato da una superficie sferica. In tale caso non vi è ragione per cui una porzione della superficie del conduttore possegga una carica più grande o più piccola di quella posseduta da un'altra qualunque porzione grande come la prima. Dunque nel caso d'una sfera elettrizzata la *densità* è la stessa su tutta la superficie.

Ciò non ha più luogo in generale per conduttori di altra forma, e cioè la densità elettrica varia da punto a punto della superficie del conduttore, e pochi sono i casi nei quali la distribuzione della carica elettrica possa esprimersi con legge abbastanza semplice.

Ma se ci contenteremo di conoscere, non il *quanto* di carica elettrica, ma soltanto *il più o meno*, potremo ritenere questa regola, e cioè che la densità elettrica è tanto maggiore, quanto più grande è la curvatura delle superficie nel punto considerato. In altri termini, più la superficie del conduttore è pianeggiante, o meglio ancora è incavata, e minore è su di essa la densità elettrica; più la superficie stessa è convessa o sporgente e più grande è la densità. Così, per esempio, nel conduttore in forma d'uovo della fig. 3, la densità è massima in A, ove la superficie ha la curvatura massima, minima nella regione B, B.... ove la curvatura è meno sentita. Nel caso estremo, in cui il conduttore abbia punte acute o spigoli vivi, delle regioni cioè ove la curvatura è infinitamente grande, pure infinita diviene la densità elettrica in quelle regioni. Se non che devesi osservare in primo luogo che in pratica, quelle che sembrano punte acutissime, non sono tali in realtà, e in secondo luogo che la *dispersione* delle cariche è tanto

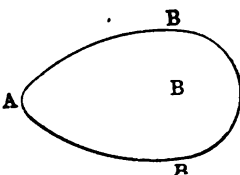



Fig. 3.

più rapida, quanto maggiore è la densità elettrica, cosicchè questa dispersione, in virtù della quale la carica elettrica abbandona il conduttore per passare nell'aria e poi nei corpi circostanti, non permette ad un corpo conduttore dotato di spigoli vivi o di punte acute, di conservare la carica elettrica al di là d'un certo limite di densità.

La descritta *proprietà delle punte* è notoriamente utilizzata nei parafulmini, in quanto essi esercitano la loro azione preventiva, ed è pure applicata nella costruzione della macchine elettriche. Quando le punte funzionano in tal modo, i fenomeni cessano d'essere elettrostaci; per cui non è qui il luogo adatto per descriverli.

4. **Il potenziale elettrico.** — Nell'applicazione del calcolo ai fenomeni elettrostatici si presentò l'opportunità di introdurre il concetto del *potenziale elettrico*, il quale agevola grandemente, non solo i calcoli, ma anche l'enunciazione dei risultati. Poco a poco, e con enorme vantaggio, il concetto del potenziale venne accolto dagli sperimentatori, E così doveva essere, poichè il *potenziale* disimpegna, nello svolgersi dei fenomeni elettrici, una parte perfettamente analoga a quella della *temperatura* nei fenomeni del calore. Il fare a meno del concetto potenziale condurrebbe ad inesattezze e difficoltà per l'esposizione e lo studio dei fenomeni elettrici, quanto l'evitare di parlare di temperatura, nello studio o nella descrizione dei fenomeni del calore. Del resto, la necessità dell'introdurre il concetto di potenziale era così sentita, che alcuni elettricisti del principio del secolo scorso, e particolarmente il Volta, adoperarono con mirabile intuizione l'espressione di *tensione assoluta* precisamente col significato, che ora ha per noi il potenziale.

Per definire il potenziale elettrico si può partire dal concetto di lavoro meccanico, e dal grande principio della conservazione dell'energia. Questo principio, che ha tanta importanza nella

scienza quanto il principio della conservazione della materia stabilito colla bilancia da Lavoisier, ha esso pure ricevuto così numerose e complete conferme, che se ne ammette l'esattezza assoluta.

Le considerazioni seguenti varranno a chiarirlo sufficientemente.

Allorquando una forza mette in moto il corpo al quale è applicata, l'effetto prodotto da un tale movimento dipende in generale, non solamente dall'intensità della forza, ma anche dallo spostamento, che la forza stessa ha prodotto lungo la propria direzione; anzi l'effetto stesso si misura convenientemente moltiplicando fra loro l'intensità della forza e lo spostamento da essa determinato. A questo prodotto si è dato il nome di *lavoro* della forza. Il lavoro sarà *consumato* o *generato* secondo che il movimento del corpo si farà in senso opposto a quello del moto che la forza tende a produrre, oppure nello stesso senso.

Si suole giustificare la scelta del vocabolo di *lavoro* dato al prodotto dell'intensità della forza per lo spazio descritto dal suo punto di applicazione e secondo la sua direzione ricorrendo all'esempio seguente.

Si abbiano dei mattoni da trasportare dalla strada ai vari piani d'una fabbrica, piani che supponiamo avere tutti la stessa altezza. Qualunque operaio intelligente, anche se privo d'ogni coltura scientifica, al quale si voglia affidare l'incarico di trasportare i mattoni a un dato piano della fabbrica, richiederà certo una mercede proporzionale, non solo al numero dei mattoni, ma anche all'altezza alla quale deve trasportarli, tanto che, per esempio, richiederà un compenso doppio se dovrà portarli al secondo anzichè al primo piano. Ed invero il lavoro o la fatica che l'operaio deve fare è non solo in proporzione del numero dei mattoni, e quindi in proporzione del peso loro complessivo, ma anche dell'altezza alla quale deve por-

tarli. È dunque chiaro, che il lavoro da eseguirsi è proporzionale al prodotto, che si ottiene moltiplicando il peso da sollevare per l'altezza a cui va portato, e cioè al prodotto della forza (peso) applicata al corpo che deve muoversi, per lo spazio da percorrere nella direzione (verticale) della forza. In questo esempio il lavoro della forza di gravità è uguale a quello della forza muscolare che a quella fa equilibrio, e l'operaio spende o consuma quel lavoro. In realtà il peso potrà essere trasportato, anzichè esattamente in direzione verticale, secondo una linea qualunque; ma siccome il muovere il corpo perpendicolarmente alla direzione della forza non richiede evidentemente nessun consumo di lavoro, così il risultato non muta. È dunque ragionevole l'adottare il vocabolo di *lavoro* per indicare il prodotto della forza per lo spazio percorso *nella sua direzione*, cioè per la proiezione, sulla direzione della forza, dello spazio effettivamente percorso.

In ogni macchina si ha in generale una forza (forza motrice o potenza) che tende a produrre quel dato effetto utile, a cui la macchina è destinata, e altre forze (resistenze) che tendono ad opporvisi. Le resistenze sono *attive* (per esempio il peso da sollevare) o *passive*, come gli attriti, la resistenza dell'aria, etc. Il lavoro della potenza e quello delle resistenze sono fra loro eguali, ciò che rende impossibile la realizzazione del tanto inutilmente cercato *moto perpetuo*.

Definito il lavoro delle forze si può definire l'*energia*. Si dice che un corpo possiede dell'energia, allorchè esso può produrre un lavoro meccanico, e la grandezza di questo serve a misurare quell'energia, la quale può quindi definirsi come l'attitudine o la possibilità della produzione di un lavoro.

Un corpo, che si muove, possiede energia. Infatti se lo si fa muovere, per esempio, dal basso all'alto, esso si eleva con moto uniformemente ritardato, sinchè la sua velocità è ridotta nulla. Se a tal istante il corpo viene rattenuto immobile, esso non pos-

siede più l'energia che prima lo animava, la quale ha prodotto già il lavoro di cui era capace, misurato dal prodotto del peso del corpo per l'altezza alla quale è salito. Dalle leggi del moto dei gravi si ricava poi che tale prodotto è uguale alla *forza viva* che aveva il corpo quando cominciò a muoversi, cioè è eguale alla metà del prodotto che si ottiene moltiplicando la sua massa pel quadrato della sua velocità. Perciò si può dire, che l'energia, che un corpo possiede in virtù del suo moto, e che usasi chiamare *energia cinetica*, è misurata dalla *forza viva*.

A prima giunta potrà sembrare che l'energia del corpo, nel suo movimento di ascesa, siasi gradatamente distrutta; ma così non è. Infatti il corpo, trattenuto alla massima altezza alla quale è pervenuto, non possiede certo *energia cinetica;* ma in virtù del posto che occupa potrà, quando si voglia, restituirci l'energia cinetica perduta e basterà permettergli di cadere sino al punto di partenza, perchè torni ad avere l'energia cinetica che in origine possedeva. Ciò è conseguenza della nota legge del moto dei gravi, secondo la quale quando un corpo lanciato dal basso all'alto ritorna, cadendo, al punto di partenza, possiede una velocità diretta dall'alto al basso uguale a quella, diretta dal basso all'alto, colla quale venne lanciato, ben inteso facendo astrazione dalla energia perduta per la resistenza, che l'aria oppose al moto del corpo. Dunque un corpo, perchè soggetto all'azione della forza, che qui è la gravità, possiede per ciò solo una energia, per così dire latente, detta *energia potenziale* o *energia di posizione.* Durante il moto del corpo si ha, nell'esempio adottato, una continua trasformazione di energia *cinetica* in energia di *posizione*, o viceversa, mentre la somma delle due rimane costante. Questa costanza esprime il *principio della conservazione dell'energia* nel caso speciale semplicissimo del moto verticale dei corpi pesanti.

Nella meccanica si dimostra, che questo principio ha una grande generalità, e che è verificato non solo per la forza di

gravità, ma per tutte le forze *centrali*, e cioè per le forze reciproche che agiscono in linea retta fra due corpi, e la cui intensità dipende solo dalla distanza fra i corpi stessi. Se si potesse dimostrare, che in natura non sono possibili che delle forze centrali, come la gravitazione, le forze elettriche e magnetiche, le forze elastiche, etc., il principio della conservazione dell'energia resterebbe senz'altro dimostrato per tutti i casi, cioè per tutte le forme sotto cui l'energia può presentarsi; ma quella dimostrazione non si può dare. Siccome però, non solo il principio si trovò sempre rigorosamente verificato, ma condusse sempre a previsioni, che poi trovaronsi pienamente confermate dai fatti, così il principio della conservazione della energia assume il carattere e l'utilità d'un principio scientifico fondamentale.

Si è detto che l'energia può presentarsi sotto diverse forme. Ed infatti, oltre le energie meccaniche (cinetica e di posizione) si hanno energie fisiche. Un corpo caldo possiede energia, che può tradursi in lavoro per mezzo d'una delle innumerevoli macchine termiche conosciute. Anzi si ritiene, che l'energia cinetica delle ultime particelle (molecole, atomi) da cui i corpi tutti risultano costituiti, sia precisamente ciò che chiamiamo calore. L'esistenza di un costante equivalente dinamico del calore, è una prova in favore dell'ammesso principio generale.

Se nell'esempio precedente del corpo che può cadere verticalmente, si sostituisce alla forza di gravità quella dell'affinità chimica, si ha il caso dell'energia chimica. Per esempio, gli atomi dell'idrogeno e quelli dell'ossigeno, allorchè i due gas sono in reciproca presenza, costituiscono un sistema dotato di una certa *quantità di energia di posizione*. Se si determina la caduta degli atomi dell'un gas verso quelli dell'altro, cioè se si determina la combinazione di essi per formare l'acqua, l'energia di posizione diviene *energia cinetica* delle molecole, e cioè calore.

Analogamente esiste energia magnetica, energia luminosa, etc. Queste energie si trasformano le une nelle altre, senza che mai si abbia perdita o creazione di energia; ed è interessante rintracciare le forme successive, per le quali una data energia ha dovuto passare, prima di avere la forma speciale, sotto cui essa ci si presenta. Se si fa una tale ricerca per le energie esistenti sul nostro globo, si riconosce che, ad eccezione di pochissime, esse sono non altro che trasformazioni del calore solare, cioè della energia, che il sole irradia continuamente in ogni direzione sotto forma di onde calorifiche e luminose. Così, la stessa energia muscolare, che guida la mia mano mentre scrivo queste parole, è di origine solare, come è della stessa origine l'energia della cascata d'acqua di cui odo il rumore, quella del vento che agita le fronde degli alberi e quella della legna o del carbone che abbruciano sul focolare.

Poichè le forze elettriche, seguendo la legge di Coulomb, sono forze centrali, così ad esse indubbiamente si applica il principio della conservazione dell'energia.

Ciò posto s'immagini un piccolissimo corpo carico con una unità di elettricità positiva, e lo si faccia muovere in un campo elettrico, partendo da un punto determinato che chiameremo punto M, fino ad una distanza infinitamente grande. Durante il moto, la forza elettrica effettuerà un lavoro meccanico.

È questo lavoro meccanico che si chiama *potenziale elettrico nel punto M*. Esso è, in virtù del principio della conservazione dell'energia, indipendente dalla via che si fa percorrere al corpicciuolo elettrizzato, giacchè, se quel lavoro lungo due diverse vie fosse differente, si potrebbe far percorrere all'unità di elettricità una delle vie in un senso, e l'altra in senso contrario, con che, pur rimettendo a posto ogni cosa, si avrebbe un guadagno od una perdita di lavoro, e quindi la creazione o la distruzione di una certa quantità di energia. Dalla data definizione di potenziale risulta immediatamente, che il lavoro della forza

elettrica relativo allo spostamento di una unità di elettricità da un punto ad un altro è eguale alla differenza dei valori del potenziale in quei due punti.

Il potenziale ha lo stesso valore per tutti i punti di un conduttore, o di un sistema qualunque di conduttori fra loro comunicanti. Infatti, se si suppone di far muovere da un punto ad un altro di quei conduttori un'unità di elettricità, seguendo un cammino tutto compreso nei conduttori o nei fili metallici di comunicazione, non si fa alcun lavoro, per essere nulla lungo tutto il percorso la forza elettrica. Perciò è nulla la differenza di potenziale fra quei due punti. Il valore costante del potenziale pei vari punti di un conduttore, si chiama *potenziale del conduttore.* Si prende come zero nella scala dei potenziali quello del globo terrestre, considerato nel suo complesso. L'unità di potenziale adottata nella pratica ha ricevuto il nome di *Volta.*

Si vede così come il potenziale disimpegni rispetto ai fenomeni elettrostatici una parte simile a quella della temperatura nei fenomeni calorifici. Come in quest'ultimo ordine di fenomeni l'uniformità di temperatura è la condizione d'equilibrio termico, così l'eguaglianza di potenziale è la condizione di equilibrio elettrico per un conduttore o per un sistema di conduttori, che si facciano fra loro comunicare.

Si potrebbero invocare altre analogie per chiarire il significato del potenziale elettrico. Per esempio lo si può paragonare alla pressione dei gas, in quanto che la condizione d'equilibrio in questo caso si esprime appunto colla necessità della eguaglianza di pressione.

Matematicamente il potenziale in un punto si può definire anche in altro modo, cioè quale la somma di tante frazioni, aventi per numeratori le singole cariche esistenti e per denominatori le rispettive distanze, che le separano dal punto considerato. Ne consegue, che il potenziale si raddoppia, triplica, etc., raddoppiando triplicando, etc. tutte le cariche elettriche. Perciò,

nel caso in cui esiste un solo conduttore elettrizzato, il suo potenziale è proporzionale alla sua carica. Il rapporto costante fra questa e quello dicesi *capacità del conduttore.*

Fuori dai conduttori il potenziale ha in generale valori differenti da un punto ad un altro. Ma si possono immaginare tutti i punti dello spazio nei quali il potenziale ha uno stesso valore; questi punti costituiscono in generale una superficie, che dicesi *superficie di livello.* Ne consegue, che la superficie di un conduttore è una superficie di livello. La componente della forza elettrica in un punto, presa secondo una tangente alla superficie di livello per esso passante, è necessariamente nulla, giacchè nullo è il lavoro della forza per uno spostamento fatto lungo quella superficie. Perciò in un punto qualunque d'una superficie di livello la forza è normale alla superficie, e normali alla superficie di livello sono le *linee di forza*, cioè le linee, che si possono imaginare nello spazio, aventi la proprietà di essere in ogni loro punto tangenti alla direzione della forza agente in quel punto.

Il più semplice esempio che si possa offrire rispetto alle superficie di livello ed alle linee di forza, è quello d'una sfera elettrizzata (fig. 4), giacchè la ragione di simmetria fa comprendere immediatamente, che le superficie di livello sono le sfere concentriche al conduttore, e le linee di forza sono i raggi del medesimo indefinitamente prolungati.

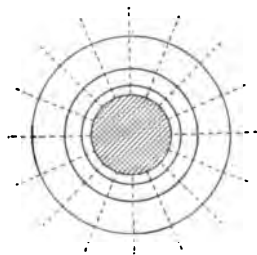



Fig. 4.

L'immaginare le superficie di livello e le linee di forza d'un campo elettrico ne facilita immensamente lo studio, particolarmente poi se si introduce una regola opportuna per la loro successione.

Si supponga di dividere la superficie dei conduttori in tante piccole aree contigue, ciascuna delle quali racchiuda una unità

di elettricità, e s'imaginino le linee di forza partenti da tutti i punti dei contorni. Si formeranno così dei *tubi di forza unità*. Si supponga del pari, che esistano tutte le superficie di livello corrispondenti a valori di potenziale, che diversifichino successivamente di una unità.

L'intero campo resterà in tal modo diviso in tante concamerazioni o *cellette*, la cui forma e le cui dimensioni serviranno a far conoscere completamente la distribuzione della forza nel campo. Nella fig. 4, relativa alla sfera elettrizzata, le intersezioni delle superfici di livello col piano di figura sono segnate con linee piene, e le linee di forza con linee interrotte: lo stesso si è fatto nella fig. 5 relativa al caso di due piccoli corpi elettrizzati, uno A con carica + 4 e l'altro B con carica — 1.

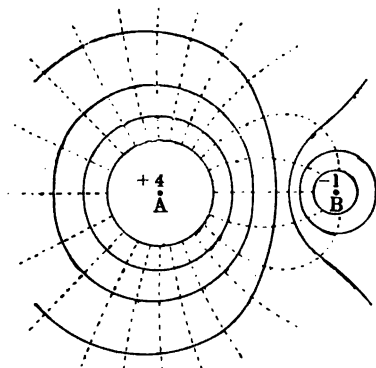



Fig. 5.

5. **Influenza elettrica.** — La teoria e l'esperienza mostrano d'accordo, che non è necessario strofinare un conduttore, o metterlo a contatto d'un corpo strofinato scelto opportunamente, perchè quel conduttore si mostri elettrizzato, ma che basta metterlo nel campo elettrico di un corpo già elettrizzato per conto proprio. Questo modo di produrre lo stato elettrico dicesi *elettrizzazione* per *influenza;* il corpo elettrizzato producente il campo elettrico dicesi *influenzante*, e quello che si porta nel campo da esso prodotto dicesi *influenzato*. Se A (fig. 6) è il corpo influenzante, ed è elettrizzato positivamente, il conduttore influenzato B, che nella fig. 6 è supposto di forma allungata, si

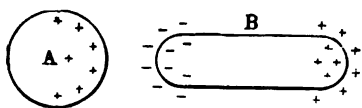



Fig. 6.

mostra elettrizzato negativamente nelle parti prossime ad A e positivamente nelle parti lontane. I segni algebrici, che vedonsi nella figura, stanno ad indicarlo.

L'esistenza di queste due cariche di opposto segno si dimostra ricorrendo agli elettroscopi; ma si mette anche in evidenza ricorrendo all'uso delle così dette *polveri elettroscopiche.* Ordinariamente si adopera un miscuglio di zolfo e di minio in polveri finissime, che si proiettano sul corpo elettrizzato stando ad una certa distanza e per mezzo d'un soffietto. Così facendo, il corpo elettrizzato A della fig. 6, come pure la parte di B la più lontana da A, si rivestono di solfo, mentre la parte di B più prossima ad A si copre d'uno strato di minio.

Questo risultato proviene dal fatto, che le particelle delle due polveri, per attrito reciproco o contro la reticella che chiude l'apertura del soffietto, si elettrizzano, e precisamente il minio positivamente, onde resta attratto dai corpi elettrizzati negativamente, mentre lo zolfo assume lo stato elettrico negativo, per cui viene attirato dai corpi positivi.

Ciascuna delle due cariche prodotte in un conduttore per influenza è in generale minore di quella posseduta dal corpo influenzante, ma diviene ad essa eguale, allorchè il conduttore influenzato circonda da ogni parte il corpo elettrizzato, ossia quando questo si trova entro un conduttore cavo.

È poi sensibilmente eguale la carica d'influenza a quella influenzante, allorchè il corpo elettrizzato ed il conduttore presentino l'uno all'altro superfici estremamente vicine.

Un risultato importantissimo si ottiene, allorchè il conduttore influenzato è formato da due conduttori distinti, che si toccano, o che comunicano per mezzo d'un filo metallico. Nel conduttore più vicino al corpo influenzante predominerà la carica eteronima, ed in quello più lontano rimarrà carica omonima a quella del corpo influenzante.

Soppressa la comunicazione fra i due conduttori, essi conser-

veranno le cariche acquistate per influenza, anche se vengano portati altrove o se venga allontanato il corpo influenzante, mentre nel caso d'un conduttore unico, esso torna allo stato naturale, una volta sottratto all'azione nel campo elettrico.

Si potranno utilizzare le cariche acquistate per influenza dai due conduttori, e poi elettrizzarli da capo collo stesso processo, cioè esponendoli all'influenza elettrica dopo averli messi in momentanea comunicazione reciproca.

Si sono ideati dei meccanismi, i quali permettono d'eseguire rapidamente i vari movimenti richiesti alla ripetizione dell'esperienza sommariamente descritta. Essi servono a generare grandi quantità di elettricità disponendo di una carica iniziale, che può essere lievissima e prodottasi inavvertitamente, e chiamansi *macchine elettriche ad influenza.* V'è una intera classe di macchine ad influenza, nelle quali ha una parte principale un corpo isolante mobile. Supponiamo che l'estremo del conduttore B rivolto verso il conduttore A (fig. 6) porti una o più punte acute, e che una lastra isolante, p. es. un disco di vetro, passi con moto continuo fra B ed A. La carica negativa di B (se la carica influenzante di A non è troppo debole) passerà dalle punte al vetro, il quale la trasporterà ad altro conduttore munito di punte, la cui carica negativa andrà così aumentando. In modo analogo si può far sì, che questo terzo conduttore, agendo per influenza attraverso il vetro mobile su di un conduttore acuminato, mandi continuamente elettricità positiva al corpo A. Si avrà allora un sistema di conduttori le cui cariche vanno crescendo. Su tale principio sono fondate certe macchine a *doppia influenza*, delle quali quella di Holtz (fig. 7) è delle più comunemente adoperate ([1]). Per la loro descrizione e la loro teoria devo rimandare il Lettore ai trattati speciali.

([1]) La fig. 7 rappresenta una macchina a quattro dischi, posseduta dall'Istituto Fisico dell'Università di Bologna. Fra i conduttori principali

Il fenomeno dell'influenza elettrica presenta un altro carattere interessantissimo. Se il corpo elettrizzato influenzante è con-

Fig. 7.

---

della macchina vedesi una scintilla, fatta scoccare dopo avere resa oscura la camera in cui fu presa la negativa, ed avere riaperto l'obbiettivo. Quei due conduttori son quelli, coi quali si mettono in comunicazione le armature di un condensatore, quando lo si vuole caricare.

duttore, la sua *capacità* varia, allorchè gli si accosta l'altro conduttore.

Per esempio, un dato conduttore A (fig. 8) viene messo in comunicazione con una sorgente (macchina elettrica), che lo elettrizza sino ad un determinato potenziale. Gli si avvicina allora un altro conduttore B non isolato, e si constata, che il potenziale del primo diminuisce. Questa constatazione può farsi per esempio coll'osservare che, accostando il secondo conduttore, scema la divergenza delle foglie d'oro d'un elettroscopio comunicante col primo. Invero l'elettroscopio dà indicazioni più o meno grandi, secondo che le cariche delle varie sue parti mobili sono esse pure più o meno notevoli; ma queste cariche dell'elettroscopio sono in proporzione del potenziale dell'istrumento, e questo potenziale è uguale a quello del conduttore col quale comunica.

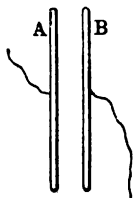



Fig. 8.

Dal fatto constatato risulta che, per ricondurre al valore primitivo il potenziale di A, occorre, che la sorgente di elettricità gli fornisca un supplemento di carica. La capacità di A è stata dunque aumentata.

L'aumento di capacità, che si ottiene coll'avvicinamento del conduttore non isolato, può essere enorme. Tale capacità cresce infatti in seguito ad ogni ulteriore avvicinamento, e diventa grandissima se la distanza fra i due conduttori si rende assai piccola.

Evidentemente il conduttore comunicante col suolo sarà elettrizzato per influenza con carica di segno opposto e di valore assoluto sensibilmente uguale a quella del primo conduttore; queste cariche saranno grandissime, e tali saranno pure le densità elettriche sulle faccie prospicienti dei due conduttori.

In tali condizioni avverrebbe facilmente la rottura dell'equilibrio elettrico e un passaggio di elettricità attraverso il sottile strato d'aria, che separa i due conduttori, se non si avesse cura

di sostituire a questo un isolante solido assai resistente, come il vetro o la mica.

Il sistema costituito dai due conduttori vicinissimi e separati da un isolante si chiama *condensatore*, e dicesi *capacità del condensatore* la capacità assunta dal primo conduttore. Essa può essere centinaia di volte maggiore di quella, che quel conduttore da solo presenterebbe. I due conduttori chiamansi *armature* del condensatore.

Non è necessario che una delle armature sia tenuta al potenziale zero: e con maggior generalità si chiamerà *capacità* il rapporto fra la carica di ciascuna armatura e la differenza dei loro potenziali.

La forma delle armature non ha influenza. Per facilità di costruzione e per comodità si sogliono costruire i condensatori per mezzo di grandi vasi di vetro, o di grandi bottiglie, parzialmente rivestiti tanto al di dentro che al di fuori mediante una foglia di stagno. Sotto questa forma un condensatore chiamasi *bottiglia di Leida*, dal luogo ove a caso si scoprì il principio dei condensatori.

Naturalmente la capacità d'un condensatore è, per definizione, proporzionale alla *costante dielettrica* (che sarà definita fra poco) dell'isolante posto fra le armature; è inoltre proporzionale alla grandezza di queste e in ragione inversa della loro distanza.

Più condensatori formano l'equivalente d'un unico condensatore di capacità eguale alla somma delle capacità loro, quando sono metallicamente riunite insieme le armature interne e quelle esterne, queste separatamente da quelle. Si ottiene invece una capacità minore di quella d'un unico condensatore, se tutti vengoni riuniti in serie, come i vari elementi d'una pila voltiana. Questa disposizione è utile però in certi casi, e precisamente quando occorra raggiungere potenziali assai elevati.

I condensatori sono utilissimi, giacchè essi sostituiscono con economia e comodità dei semplici conduttori, i quali, per avere

la stessa capacità, dovrebbero possedere dimensioni colossali impossibili a realizzarsi. Essi permettono quindi di fare intervenire nelle esperienze delle quantità grandissime di elettricità, ciò che dà luogo alla manifestazione di fenomeni assai poderosi, specialmente quando si effettua la *scarica*, cioè il ritorno, lento o violento che sia, allo stato naturale. Lo studio delle scariche esce dai confini della Elettrostatica.

6. **I dielettrici.** — Per molto tempo si credette, che nei conduttori avessero sede i fenomeni elettrostatici, e che ai corpi dielettrici non spettasse che la parte passiva di isolatori. Ma adesso bisogna accogliere, in base a nuovi fatti che si andarono accumulando, una opinione opposta.

Si riconobbe dapprima che la quantità d'elettricità prodotta per influenza dipende dalla natura del mezzo isolante, che circonda i conduttori, tanto che se all'aria, che sta fra le armature d'un condensatore, si sostituisce un altro coibente, la capacità dell'apparato muta alquanto. Se col sostituire all'aria ambiente il nuovo corpo isolante la capacità diviene per esempio doppia, tripla, etc., ciò viene espresso dicendo che la *costante dielettrica* del nuovo coibente è eguale a 2, 3, etc. In altre parole, si dice costante dielettrica d'un corpo il rapporto fra la capacità d'un condensatore formato da due armature separate da quel certo corpo, e la capacità che avrebbe il medesimo condensatore, quando fra le sue armature si trovasse l'aria atmosferica.

Oltre a ciò si sono osservati nei coibenti certi fenomeni, i quali dimostrano, che in essi hanno sede speciali modificazioni, allorchè sono posti in un campo elettrico. Se, per esempio, un bastone formato di sostanza isolante viene adoperato nella esperienza relativa all'influenza, al posto del bastone conduttore B (fig. 6), esso si comporta apparentemente in modo simile, quan-

tunque naturalmente non si possa in tal caso supporre, che l'elettricità si trasporti attraverso il corpo isolante.

Si è dunque costretti a ritenere, che tutt'al più le cariche elettriche si separino localmente in ogni punto del dielettrico. Ad ogni modo resta dimostrato, che il dielettrico subisce in ogni sua parte qualche modificazione di natura elettrica, allorchè si trova esposto all'azione del campo, e questa modificazione si designa col nome di *polarizzazione.*

L'origine di questo vocabolo sta nell'ipotesi fatta per spiegare l'azione dei coibenti. Ed è tempo che appunto di tale ipotesi e delle teorie generali dei fenomeni elettrici si dia un breve cenno.

7. Ipotesi antiche sulla causa dei fenomeni elettrici. — È nella natura umana il non accontentarsi di assistere alla produzione degli innumerevoli fenomeni naturali, di esaminarli attentamente, di studiare e provocare la produzione di fenomeni, che la natura presenta di rado o sotto differenti modalità; si cerca invece di connetterli fra loro, scoprirne le leggi, e soprattutto indovinarne le cause.

Forse alla mente dell'uomo non è dato di scoprire la causa prima dei fenomeni dell'universo, ma l'aspirazione verso questo fine è incessante, e non può essere in qualche modo appagata, che quando, in base ad una ipotesi semplice e razionale, si giunge a comprendere, come da essa sgorghi logica e chiara la spiegazione dei fenomeni.

I fenomeni elettrici, per l'indole loro tanto diversi dai fenomeni comunemente osservati, dovevano eccitare in sommo grado la curiosità dei pensatori. È dunque naturale che fino da una epoca, nella quale neppure tutti i fenomeni descritti più sopra erano conosciuti, si siano inventate delle spiegazioni basate su ipotesi opportune.

L' ipotesi dei *fluidi elettrici* fu per lungo tempo accettata da tutti. Secondo tale ipotesi i fenomeni elettrici sarebbero dovuti a due sostanze imponderabili mobilissime, dotate della proprietà di imbevere in certo modo i corpi, di passare liberamente da luogo a luogo quando si tratta di attraversare i conduttori, di aderire alquanto alla materia, sì da trascinarla facilmente nel loro moto, ed infine dotati della proprietà di attirarsi l' un l' altra a distanza. Una forza a distanza esisterebbe pure fra due porzioni d' uno stesso fluido, ma questa sarebbe ripulsiva.

Secondo una tale ipotesi un corpo allo stato naturale contiene uguali quantità dei due fluidi, che per le loro proprietà opposte dissimulano reciprocamente la loro presenza; il prodursi dello stato elettrico consiste nel rendere uno dei due fluidi più abbondante dell' altro. A seconda che è l' uno o l' altro che abbonda, si avrà lo stato elettrico positivo e lo stato elettrico negativo. Le forze elettriche fra i corpi elettrizzati risultano così naturalmente spiegate. Per esempio, fra due corpi, nei quali abbondi uno stesso fluido, si avrà ripulsione, perchè le ripulsioni fra le porzioni omonime di fluido nei due conduttori supereranno le attrazioni fra le porzioni di fluidi differenti.

La creazione degli stati elettrici in due corpi per strofinamento reciproco resta del pari spiegata riducendosi al passaggio di una certa quantità di fluido positivo da un corpo all' altro, insieme probabilmente al passaggio inverso d' una certa quantità di fluido negativo.

I fenomeni d' influenza nei conduttori si spiegano con non minore facilità. Infatti, non appena un conduttore è avvicinato ad un corpo elettrizzato, i due fluidi, che esso contiene, debbono spostarsi per obbedire alle forze provenienti dal corpo elettrizzato. Quello di essi, che è identico al fluido predominante nel corpo elettrizzato, sarà respinto nelle parti del conduttore, che più sono lontane, mentre l' altro fluido sarà attratto, e dovrà perciò accumularsi nelle parti attigue.

Similmente si spiegano con facilità le diverse particolarità che presentano i vari altri fenomeni elettrici dei conduttori.

Alla teoria dei due fluidi elettrici venne ben presto contrapposta la teoria unitaria, che fu prontamente adottata dagli elettricisti, specialmente in Italia, come più razionale dell'altra. Secondo questa teoria si suppone, che esista una sola sostanza imponderabile, esercitante ripulsione su sè stessa ed attrazione sulla materia, denominata fluido elettrico. Un corpo allo stato naturale contiene una certa quantità, che dovrà certo supporsi grandissima, dell'ipotetico fluido; lo stato elettrico positivo o negativo è dovuto all'abbondare e allo scarseggiare del fluido stesso rispetto alla dose normale. Anche con questa più semplice ipotesi si arriva dunque ad una spiegazione dei fatti fondamentali.

Ma l'esistenza di sostanze imponderabili capaci di agire a distanza sembrò sempre ad alcuni difficile ad ammettersi. Era naturale, che si fosse condotti ad ipotesi simili, in causa della analogia fra le forze elettriche e la forza di gravitazione universale, che pure si considerò generalmente come una azione a distanza d'un corpo sopra un altro; ma ad alcuni apparve sempre illogico l'ammettere tali azioni a distanza, l'ammettere cioè che un corpo possa direttamente esercitare un'azione qualsiasi in un luogo più o meno lontano da quello da esso occupato. Lo stesso Newton, enunciando la sua celebre legge, si limitò ad asserire, che tutto accade, *come se* i corpi si attraessero in proporzione delle loro masse ed in ragione inversa del quadrato della loro distanza. Era dunque naturale che, non appena l'ipotesi del fluido elettrico incontrasse qualche difficoltà per la spiegazione dei fatti, si manifestasse la tendenza ad abbandonare l'ipotesi stessa.

I fenomeni dell'influenza sui corpi isolanti sembrarono appunto dapprima non facili a spiegarsi coll'ipotesi dominante; ma si cercò di superare la difficoltà nell'ingegnoso modo seguente.

Si suppose, che l'essere un corpo più o meno conduttore si debba soprattutto ad una certa difficoltà nel passaggio del fluido elettrico dall'uno all'altro atomo del corpo, ma che ogni atomo debba considerarsi separatamente come un conduttore perfetto. Così, per esempio, non esisterebbe nessuna differenza, dal punto di vista del loro comportamento rispetto al fluido elettrico, fra gli atomi dello zolfo, e quelli del rame, benchè il primo di questi corpi sia un buon isolante ed il secondo un ottimo conduttore. Nel caso dello zolfo il passaggio dell'elettricità da atomo ad atomo non avrebbe luogo che con grandissima difficoltà, mentre nel caso del rame tale passaggio avverrebbe con facilità estrema.

Considerando le cose in tal maniera, resta facile rendere conto delle proprietà dei dielettrici senza rinunciare all'ipotesi fondamentale del fluido elettrico agente a distanza. Quando infatti un corpo qualunque viene portato nel campo elettrico, ogni suo atomo si comporta come il cilindro B della fig. 6, e cioè si produce una carica positiva da una parte ed una negativa dall'altra, ossia si sposta in ogni atomo il fluido elettrico per azione della forza del campo. Se il corpo è conduttore, questo suo stato di *polarizzazione* sparisce immediatamente in seguito al passaggio della elettricità da atomo ad atomo, e, dopo un tempo inapprezzabilmente breve, si formano le cariche di influenza ben note alla superficie del corpo. Se invece il corpo è isolante, la polarizzazione resta invariata, finchè dura la forza elettrica che la produce, e ad essa si devono le forze elettriche provenienti dal corpo stesso, in virtù delle quali esso si comporta in modo simile ad un conduttore. Siccome poi d'altra parte è verosimile, che un dielettrico diversifichi da un altro per numero, forma e disposizione dei suoi atomi, così è chiaro, che due diversi dielettrici, sostituiti l'uno all'altro, modificheranno diversamente il campo elettrico, e così manifesteranno una diversa costante dielettrica.

L'ipotesi della polarizzazione elettrica dei corpi isolanti rende conto di certi fenomeni, che presentano tali corpi, allorchè si trovano nel campo elettrico; essa avrebbe anzi potuto fino ad un certo punto farli prevedere.

Se nell'interno del corpo si segue una linea di forza, si trovano tanti atomi, ciascuno dei quali è in parte carico positivamente ed in parte negativamente, in modo tale, che due atomi successivi posseggono nelle parti attigue cariche opposte. Tutti questi atomi devono dunque attrarsi reciprocamente, cosicchè l'intera fila tenderà ad accorciarsi. Seguendo invece una superficie di livello si troveranno tanti atomi, aventi tutti carica positiva verso una faccia della superficie, e carica negativa verso la faccia opposta. Perciò due qualunque di essi si respingeranno a vicenda, come è facile a dimostrarsi, e la detta superficie tenderà ad aumentare di grandezza. Dunque, quando un isolante è nel campo elettrico, esso cambierà di dimensioni, allungandosi nelle direzioni trasversali alle linee di forza ed accorciandosi nel senso di queste. Per esempio il vetro, che separa le armature d'un condensatore, dovrà divenire più sottile e più largo, quando si carica il condensatore. Quest'ultimo fenomeno è stato infatti constatato e studiato.

La teoria del fluido elettrico si mostrerebbe adatta a spiegare anche molti altri dei fenomeni, di cui si darà in seguito una descrizione; ma pel momento giova raffrontare a questa teoria, omai abbandonata sotto la sua forma antica qui esposta. il concetto moderno, seguendo il quale non si è costretti ad ammettere le azioni a distanza.

8. Concetti moderni intorno alla sede dei fenomeni elettrici. — Fu il celebre fisico Faraday, che rivolse per primo la propria attenzione sui coibenti, fino allora considerati quali passivi isolatori, e si formò la convinzione, che in essi, e non

nei conduttori, i fenomeni elettrici avessero la loro sede principale. Le idee di Faraday, accolte dapprima con diffidenza, vennero generalmente accettate, dopo che il Maxwell seppe dare alle medesime una forma matematica.

Secondo questo nuovo concetto la sede principale dei fenomeni è fuori dai conduttori; e siccome si può ritenere in base ai fatti osservati, che i fenomeni stessi possano prodursi anche quando i conduttori sono circondati da uno spazio privo di materia ponderabile, cioè occupato soltanto dall'etere universale, la cui esistenza è rivelata dai fenomeni della luce, così si potrà dire, che i fenomeni elettrici hanno sede nell'etere libero o in quello contenuto nei dielettrici.

Si crea il campo elettrico allorchè il dielettrico (o l'etere) si polarizza; ma questa polarizzazione si concepisce in un modo un poco diverso da quello antecedentemente spiegato. Non si può più, infatti, immaginare il mezzo polarizzabile come costituito da piccoli conduttori isolati, giacchè tornerebbe in campo la forza a distanza fra l'uno e l'altro; occorre dunque immaginarlo continuo. Ma, nello stesso modo che, secondo le antiche idee sulla polarizzazione, si supponeva aver luogo, nell'atto della sua produzione, uno spostamento del fluido elettrico in ogni particella, secondo la nuova teoria si imagina che un simile spostamento abbia luogo a partire da ogni punto del mezzo e per un piccolissimo intervallo. Si suppone inoltre, che allo spostamento dell'elettricità si opponga una forza elastica antagonista, di guisa che, non appena cessa quella qualunque causa, che determinava lo spostamento elettrico, questo sparisca.

Nella teoria di Maxwell si seguita dunque ad ammettere l'esistenza d'un fluido elettrico o di qualche cosa di materiale cui si dà il nome di elettricità, ma gli si toglie l'inverosimile attributo dell'azione a distanza. Se fra i conduttori sembrano agire forze elettriche a distanza, queste forze non sono che la manifestazione della tendenza, che ha il mezzo polarizzato, ad

accorciarsi secondo le linee di forza. Se un tale accorciamento deve veramente prodursi, occorre appunto che i conduttori, sui quali le linee di forza vanno a terminare, si spostino. È questo spostamento, che nell'antica teoria veniva spiegato colle attrazioni e ripulsioni a distanza. Si può dire insomma, benchè non si sappia precisare meglio la spiegazione, che i fenomeni elettrici sono la manifestazione dell'elasticità del mezzo, messa in giuoco dallo spostamento elettrico. Questo modo d'esprimere le cose è necessariamente vago; inoltre, non si sa indicare meglio come avvenga, che lo spostamento elettrico e la conseguente polarizzazione provochino quelle tensioni, che si manifestano poi come forze fra i conduttori; ma almeno non è necessario ammettere forze a distanza. La teoria ha dunque bisogno di essere completata, e vedremo più oltre qual'è la via, secondo la quale verosimilmente vi si potrà col tempo arrivare.

Si può però meglio chiarire in che consista la polarizzazione, immaginando il dielettrico diviso, come si disse altrove, in tante piccolissime cellette per mezzo di superficie di livello e di tubi di forza. Per tracciare questi ultimi si potrà dividere una superficie di livello in piccole aree contigue e poi condurre le linee di forza per tutti i punti dei loro contorni. Basterà allora supporre, che tutte le cellette sieno piene di un liquido incompressibile, e che le pareti, che le separano, sieno costituite da sottilissime membrane elastiche a perfetta tenuta, perchè divenga facile figurarsi la polarizzazione.

Il polarizzarsi del dielettrico verrà rappresentato nel nostro modello dallo spostarsi del liquido secondo i tubi di forza. Con ciò, parte del liquido d'una celletta invaderà lo spazio occupato prima da parte del liquido di quella che gli vien dopo, mentre le membrane di separazione giacenti lungo le superfici di livello saranno deformate tutte nello stesso verso.

Se la causa dello spostamento viene a cessare, l'elasticità delle membrane riconduce il liquido al posto primitivo. Consi-

derando come fisso nello spazio il volume *abcd* (fig. 9) occupato da una celletta qualunque prima della deformazione, il liquido in essa contenuto va, dopo la deformazione, ad occupare il volume *a'b'c'd'*, e così si può dire, che del liquido ha attraversato ogni sezione del tubo di forza *abef*, nell'atto in cui si è prodotto il fenomeno. Analogamente

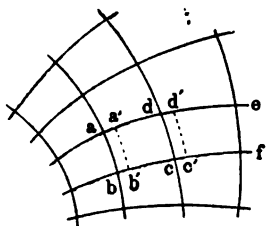



Fig. 9.

si potrà dire, che attraverso ogni porzione di superficie di livello passa una certa quantità di elettricità, nell'atto in cui si produce la polarizzazione. Anzi si riserverà la denominazione di *spostamento elettrico* per indicare la quantità di elettricità spostata per ogni unità di superficie. Ammesso che lo spostamento in un dato punto e la forza elettrica, che ivi agisce, siano fra loro proporzionali, si arriva a conclusioni conformi ai fatti.

Consideriamo ciò che accade nel periodo di transizione, e cioè mentre si compie lo spostamento o mentre esso sta sparendo. Nel primo caso esiste nel dielettrico un movimento di elettricità nel senso delle linee di forza, a cui si può dare il nome di *corrente dielettrica*, per distinguerla dalla corrente ordinaria o *conduttiva*, di cui si dirà fra poco. La corrente dielettrica durerà un tempo brevissimo in causa della reazione elastica, che si suppone esistere nel dielettrico. Al cessare della causa produttrice dello spostamento si avrà una corrente dielettrica di direzione opposta alla precedente. Invece, se il mezzo fosse conduttore, la reazione elastica non esisterebbe, e la corrente elettrica, che in tal caso può chiamarsi *conduttiva*, durerebbe quanto la *forza elettromotrice*, ossia quanto la causa dello spostamento; ed al cessare di questa non si avrebbe una corrente di ritorno, mancando l'elasticità, alla quale tal corrente è dovuta nel caso d'un mezzo isolante.

È chiaro, che in un sistema formato da dielettrici e da conduttori non possono aver luogo fenomeni di corrente durevole,

qualora questi conduttori non formino linee chiuse. Tuttavia, mentre si produce lo spostamento nel dielettrico, esisteranno nei conduttori delle correnti conduttive. Infatti, dovrà uscire elettricità positiva dai conduttori o porzioni di conduttori, da cui partono le linee di forza, ad entrarne là dove queste linee vanno a terminare, per cui si produrrà una corrente conduttiva accompagnante il formarsi della polarizzazione nel dielettrico. Quando le forze elettromotrici cesseranno di esistere, si avranno correnti dielettriche e correnti conduttive, rispettivamente nei dielettrici e nei conduttori, di direzioni inverse a quelle di prima, in virtù delle quali tutto il sistema ritornerà allo stato naturale. Considerando in pari tempo tanto le correnti dielettriche che quelle conduttive, si riconosce, che esse formano un sistema chiuso su sè stesso, ed è in questo senso che si può dire, che non possono esistere che delle correnti elettriche chiuse. Come si vede, si viene così ad attribuire al fluido elettrico o alla elettricità l'incompressibilità perfetta.

Il nuovo modo di concepire i fenomeni elettrici lascia indeterminata la loro causa prima. Ma in questi ultimi tempi le nostre idee sulla natura dei fenomeni elettrici si sono ulteriormente specializzate, e ciò in base ai fenomeni dell'elettrolisi e delle scariche elettriche, di cui si terrà parola più avanti. Soltanto dopo aver imparato a conoscere questi fenomeni si potrà dare un'idea dei tentativi recenti fatti per arrivare ad una più intima conoscenza della natura dei fenomeni elettrici.

9. **Sorgenti elettriche.** — Esaminando con attenzione la produzione dello stato elettrico nei diversi casi conosciuti, si riconosce agevolmente, che in generale la condizione necessaria e sufficiente per la riuscita consiste nel contatto fra due corpi diversi, seguito spesso dal loro allontanamento. Se i corpi sono conduttori, basta appunto metterli in contatto e poi separarli

per renderli elettrici, come il Volta pel primo dimostrò; ma se invece uno od entrambi i corpi, che si pongono a reciproco contatto, sono non conduttori, lo strofinamento diviene vantaggioso, in quanto che esso favorisce e moltiplica il contatto, mettendo successivamente a contribuzione anche quelle parti dei corpi, che per un semplice contatto non entrerebbero in azione.

Il Volta, come è noto, fu condotto alle sue scoperte, dalla memorabile esperienza del Galvani. Questo sapiente ed abile sperimentatore, studiando l'azione della elettricità artificiale e dell'elettricità atmosferica sugli organismi viventi, fu condotto alla sua esperienza, la quale consiste nel provocare delle vivaci contrazioni negli arti inferiori d'una rana uccisa da poco (fig. 10), semplicemente col porre in comunicazione metallica i nervi lombari, che veggonsi isolati nella figura, coi muscoli della coscia. Quantunque il Galvani attribuisse questo fenomeno all' esistenza di elettricità svolgentesi continuamente nell'animale, non mancò di rilevare, che se l'arco conduttore adoperato per stabilire quella comunicazione è bimetallico, l'effetto, che se ne ha, è particolarmente notevole.

Fig. 10.

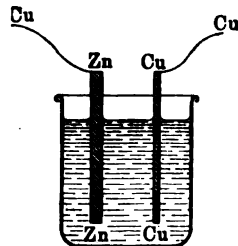
Su questa particolarità fu indotto il Volta a fissare la propria attenzione, e fu appunto in seguito a lunghe, pazienti ed ingegnose esperienze, che fu condotto al suo principio fondamentale del contatto, che può enunciarsi così: quando due corpi sono in contatto, si stabilisce fra essi una certa *differenza* di *potenziale*, che dipende solo dalla natura dei due corpi e dalle condizioni fisiche in

cui si trovano, ed è quindi indipendente dalla forma, dimensione, etc. dei corpi stessi.

Per una certa classe di conduttori, che comprende i metalli, il carbone e qualche altro solido, le differenze di potenziale di contatto obbediscono alla *legge di Volta*, in virtù della quale al diretto contatto può, con parità di effetto, sostituirsi la *comunicazione* fatta per mezzo d'una qualunque serie di altri conduttori della stessa classe. Ne viene, che non è possibile rendere direttamente manifesta la differenza di potenziale di contatto per mezzo degli elettroscopi, e che occorre allontanare i corpi posti in contatto, per dimostrarne poi separatamente lo stato elettrico. Così facendo si aumenta il potenziale di ciascuno di essi, precisamente come si fa aumentare il potenziale d'una armatura di condensatore, coll'allontanarla dall'altra armatura.

Ma vi sono dei conduttori, come le soluzioni saline, gli acidi etc., formanti la seconda classe di conduttori secondo il Volta, ed ora chiamati *elettroliti*, che si sottraggono alla legge suesposta. Facendo intervenire tali corpi, si constata la diversità dei potenziali di corpi in contatto, anche senza essere costretti ad allontanarli. Un caso semplice è quello, che si ha mettendo in serie tre corpi differenti, uno almeno dei quali sia elettrolita, per esempio rame, acido solforico, zinco, rame, il che costituisce una *coppia voltaica* (fig. 11).

Fig. 11.

Senza che sia necessario muovere quei corpi, si constata la produzione di una differenza di potenziale fra i due pezzi di rame formanti le estremità della fila. La differenza di potenziale così constatata risulta dalla somma *algebrica* di quelle che esistono nei tre successivi contatti. Basta poi ammettere, che le differenze di potenziale di contatto variino colla temperatura, e che possano formarsi, non solo al contatto fra corpi eterogenei, ma anche fra parti d'un medesimo corpo che sieno in diverse

condizioni fisiche, per ricondurre ad un' unica causa immediata (il contatto) la produzione degli stati elettrici nei casi apparentemente i più svariati.

Ma se questa unità di causa immediata è scientificamente importante, essa lascia impregiudicata la questione della causa prima. In altri termini, coll' enunciare il principio del contatto non si dà una *spiegazione.*

Si è tuttavia cercato di rendere conto del come avvenga, che fra corpi in contatto si produce la differenza di potenziale constatata sperimentalmente.

Dapprima bisognò contentarsi di spiegazioni vaghe, come sarebbe questa, che i corpi di diversa natura hanno diversa *attrazione* per l' *elettricità;* poi bisognò far intervenire l' *affinità chimica*, specialmente nel caso degli elettroliti. Ma in ogni modo un' ipotesi fondamentale, senza di cui non si riesciva a spiegar nulla, s' imponeva irresistibilmente, l' ipotesi cioè delle cariche atomiche.

Non sembra possibile infatti anche oggi far a meno di questa ipotesi, la quale consiste nel supporre, che gli atomi tutti, allorchè si separano dalle combinazioni chimiche, siano elettrizzati. Per esempio, se si scompone una molecola d' acqua, l' atomo d'ossigeno resterà elettrizzato negativamente, mentre i due atomi d' idrogeno si presenteranno con carica positiva. Questa è complessivamente eguale in valore assoluto alla negativa dell' atomo d' ossigeno; anzi la quantità di elettricità dei due *ioni* (nome che, ad esempio dal Faraday, si dà ai due atomi o gruppi atomici, in cui si scinde la molecola d'un elettrolita) sarebbe la stessa, in valore assoluto, per tutti i corpi.

Questa ipotesi è suggerita dal fenomeno dell' *elettrolisi* di cui si tratterà nel capitolo II, e soprattutto dalle leggi, alle quali esso obbedisce; ma non vale da sola a spiegare la formazione della differenza di potenziale fra due corpi che si tocchino, o fra le estremità d' una coppia voltaica. Occorre un' altra

ipotesi, o quella dell' attrazione elettiva della materia sull'*elettricità* o quella egualmente poco definita della misteriosa *forza d'affinità*, o infine l' altra più chiara e verosimile, che da poco è stata messa avanti, in connessione coi moderni concetti relativi alle soluzioni diluite.

S' immagina cioè che i ioni, o atomi elettrizzati, esistano sempre in numero più o meno grande, a seconda delle circostanze, nelle soluzioni. Tali ioni passano a diffondersi in un corpo in contatto con quello di cui fanno parte con velocità differenti, sì che in uno dei corpi in breve si accumulano più ioni positivi che negativi, mentre nell'altro accade necessariamente il contrario. I due corpi presenteranno allora stati elettrici opposti, ossia esisterà fra essi una differenza di potenziale, la quale in un tempo brevissimo assumerà un valore massimo invariabile, opponendosi naturalmente le forze elettriche al continuarsi del processo a cui devono la loro esistenza. Non sembra poi difficile estendere la spiegazione anche al caso del contatto fra metalli.

A. RIGHI.

CAPITOLO II.

Le correnti elettriche costanti.

10. **La Pila.** — Come si è visto nel precedente paragrafo, si possono dividere i conduttori, sull' esempio dato dal Volta, in due classi: conduttori propriamente detti (metalli, carbone, minerali metallici etc.) ed elettroliti (corpi nei quali la conducibilità è connessa con modificazioni chimiche, come le soluzioni saline, acide etc.). Vige pei conduttori della prima classe, ma non per quelli della seconda, la legge di Volta, in virtù della quale non è disturbato l' equilibrio elettrico in due conduttori ponendoli in contatto diretto, dopo che già si trovavano in comu-

nicazione mediante una serie qualunque di conduttori della prima classe. Una volta quel contatto stabilito si ha una corona o circuito in equilibrio elettrico, formato da tanti diversi conduttori, in ciascuno dei quali il potenziale ha un valore costante, generalmente diverso da uno ad altro conduttore.

Ma se, a formare il circuito, entra qualche conduttore di seconda classe, può accadere, che l'equilibrio elettrico sia impossibile. Infatti, i due conduttori estremi della serie di conduttori successivamente in contatto possono, in virtù di tali contatti, trovarsi a potenziali tali, che la loro differenza diversifichi da quella, che fra quei due conduttori si genera, allorchè vengono posti a contatto diretto. In tal caso, allorchè si chiuderà il circuito col porre in contatto i due suddetti conduttori estremi, non si avrà equilibrio elettrico, e si produrranno fenomeni elettrici d'indole affatto diversa da quella dei fenomeni statici considerati nel precedente capitolo.

Nell'ipotesi del fluido elettrico è naturale, che si consideri il nuovo fenomeno scoperto dal Volta come un fenomeno di moto di quel fluido, e precisamente si supponga il circuito conduttore percorso da una corrente di elettricità. Ma, ammesso che i fenomeni elettrostatici abbiano sede *principalmente* nel dielettrico che circonda i conduttori, si potrà pensare che anche i fenomeni della *corrente elettrica* sieno in esso localizzati. Tuttavia v'è certo un vero fenomeno di moto entro i conduttori di seconda classe allorchè entrano a far parte del circuito, giacchè, come si vedrà, in questi corpi ha luogo un trasporto di ioni elettrizzati; e vedremo che non pochi suppongono oggi, che un analogo moto di particelle elettrizzate esista anche nei metalli percorsi dalla corrente, e costituisca la corrente stessa.

Alla corrente elettrica si attribuisce una direzione determinata e precisamente quella secondo la quale, nell'ipotesi dei due fluidi, si muoverebbe il fluido positivo.

Per dare un semplicissimo esempio di produzione della *corrente elettrica*, si può ricorrere alla coppia voltaica, di cui già si è fatto parola, e cioè ad una serie di tre corpi, fra i quali uno almeno è di seconda classe, come sarebbero rame, acido solforico e zinco, supponendo la coppia stessa a *circuito chiuso*, e cioè supponendo stabiliti i tre successivi contatti rame ed acido, acido e zinco, zinco e rame.

Mentre, tagliato che sia in due uno dei conduttori, per esempio il rame, in modo da aversi una coppia a *circuito aperto*, non si osservano che i noti fenomeni elettrostatici, e in particolare le forze elettriche di segno opposto presso le estremità o *poli* del sistema, quando il circuito è chiuso, si ottengono tutti quei fenomeni, che furono attribuiti alla corrente elettrica.

Invece di una semplice coppia di Volta potremo adoperarne più, disposte in fila nel circuito con orientazione costante. Se, per esempio, formeremo il circuito in questo modo: rame, acido,

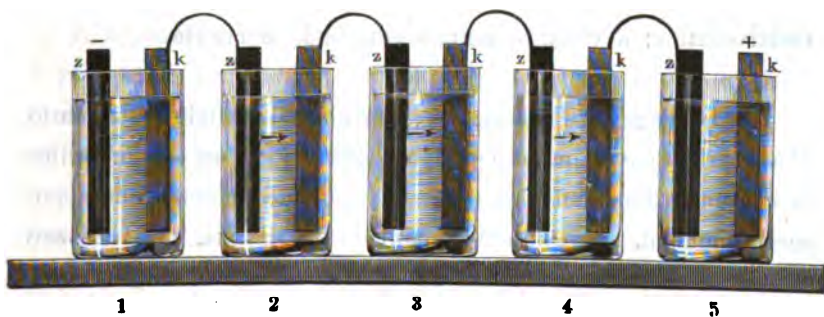



Fig. 12.

zinco, rame, acido, zinco, avremo una *pila* costituita da due coppie, e analogamente potremo figurarci una pila di un numero di coppie qualunque (fig. 12).

La denominazione, che certo è adesso impropria, di *coppia*, fu introdotta dal Volta, allorchè credeva, che fosse principalmente pel contatto fra i due metalli, che si produceva una

differenza di potenziale, ed il vocabolo stesso si riferiva appunto al rame ed allo zinco insieme uniti. Oggi invece si ammette, che l'azione *elettromotrice*, ossia la produzione di differenza di potenziale, esista in tutti i contatti, forse principalmente in quelli fra elettrolita e metallo; ma la denominazione è rimasta, impropriamente applicata al sistema dei tre conduttori.

Una coppia può essere formata altresì con due elettroliti ed un metallo, oppure con due elettroliti e due metalli (nel qual caso i contatti fra sostanze eterogenee sono evidentemente quattro), etc.

La somma algebrica delle *forze elettromotrici di contatto*, ossia delle successive differenze di potenziale, che s'incontrano passando da un conduttore al successivo, si chiama *forza elettromotrice della coppia*. Nel caso d'una pila, cioè d'una serie di coppie, si dirà analogamente *forza elettromotrice della pila* la somma delle forze elettromotrici delle coppie che la formano. A circuito aperto, supposto che i poli sieno costituiti da uno stesso conduttore, la forza elettromotrice genera i fenomeni elettrostatici; a circuito chiuso genera la corrente.

11. **La legge di Ohm.** — Allorchè si chiude il circuito d'una pila, per esempio ponendo i due capi d'un filo metallico in comunicazione coi poli di essa, si producono nei primi istanti certi fenomeni, generalmente di durata brevissima, caratterizzati da ciò, che essi mutano da un istante all'altro. Si ha, cioè, dapprima uno stato variabile, di cui si tratterà più avanti. Ma in breve è raggiunto uno stato di cose permanente, che in pratica durerà un tempo più o meno limitato in causa delle modificazioni, che nel circuito stesso si producono pel fatto della corrente, ma che in teoria si potrà per semplicità supporre di durata indefinita. Si ha allora la *corrente elettrica costante*, dei cui fenomeni è ora necessario rendersi conto.

La corrente elettrica produce effetti diversi, a seconda dei corpi pei quali passa. Per esempio, mentre scompone un elet-

trolita, e fonde un filo metallico, essa eccita i nervi d' un animale promuovendo contrazioni muscolari, come nel caso della esperienza celebre del Galvani, che diede occasione alle scoperte del Volta. Ma certi effetti della corrente sono indipendenti dalla natura del corpo nel quale ha sede la corrente stessa. Uno di questi è quello di generare sempre un campo elettrico.

Infatti, allorchè si chiude il circuito, cessa bensì di essere costante il potenziale in ciascuno dei conduttori, che ne fanno parte, ma non per questo esso si annulla, e perciò non si annulla il campo elettrico. Al contrario accade, che in ciascun conduttore, facente parte del circuito chiuso, il potenziale varia da punto a punto, come varia da punto a punto la temperatura in una sbarra, mantenuta calda ad una estremità e fredda all' altra, nella quale si propaghi in modo permanente del calore; oppure, come varia la pressione dell' acqua lungo un tubo, nel quale quel liquido scorra con moto permanente. Ma del campo elettrico generato dalle correnti costanti è inutile qui l' occuparsi.

L' analogia fra la corrente elettrica e la *corrente di calore* è però assai intima. Fu anzi basandosi su tale analogia, che il matematico tedesco Ohm stabilì una legge, che pei fenomeni, di cui si tratta nel presente capitolo, è fondamentale.

La legge di Ohm può esprimersi dicendo, che lungo un conduttore omogeneo e di costante sezione trasversale, facente parte del circuito di una pila, il potenziale varia uniformemente, di guisa che, se si imagina di elevare su ogni punto del conduttore, supposto rettilineo, una perpendicolare di lunghezza proporzionale al valore del potenziale in quel punto, le estremità di tutte quelle ordinate formano una linea retta. Tale legge vale anche per la propagazione permanente del calore attraverso una lastra omogenea, quando si sostituisca al vocabolo *potenziale* quello di *temperatura*. In questo caso la quantità di calore, che nell' unità di tempo attraversa la lastra, è proporzionale alla differenza delle temperature delle

sue faccie estreme, mentre dipende dallo spessore e dalla natura della lastra; similmente, la quantità di elettricità, che *passa nel conduttore* in un minuto secondo, ossia l'*intensità della corrente*, sarà proporzionale alla differenza dei potenziali propri delle due estremità del conduttore considerato, e varierà a seconda della natura e dimensioni del conduttore. Si chiama *resistenza del conduttore* il rapporto fra la differenza di potenziale e l'intensità della corrente.

La resistenza d'un conduttore varia colle sue dimensioni, e precisamente è proporzionale alla lunghezza ed in ragione inversa della sezione. Varia poi colla natura del conduttore, ed anzi, onde paragonare fra loro i vari corpi, se ne determina la *resistenza specifica*, ossia la resistenza dei corpi relativa alla lunghezza uno ed alla sezione uno. La *conduttività* d'una sostanza è l'unità divisa per la resistenza specifica, ossia l'inversa di questa.

Come per la quantità di elettricità e per il potenziale, si sono scelte delle opportune unità di misura per l'intensità di corrente e per la resistenza; le unità adottate nella pratica si chiamano: ampère, quella relativa all'intensità di corrente, ed ohm, quella per la resistenza.

La corrente ha l'intensità di un ampère in un conduttore la cui resistenza sia un ohm, allorchè fra le estremità di esso è mantenuta una differenza di potenziale uguale ad un volta.

Applicando poi la legge di Ohm, non più ad un determinato tratto di conduttore, ma all'intero circuito, si trova, che l'intensità della corrente nel circuito stesso è uguale alla differenza di potenziale, che si osserverebbe ai poli della pila, quando il circuito fosse aperto, divisa per la resistenza dell'intero circuito, ossia per la somma delle resistenze dei conduttori che lo costituiscono.

12. **L'elettrolisi.** — Nei conduttori di seconda classe, o elettroliti, il fenomeno della corrente elettrica è accompagnato,

come si disse, da un fenomeno chimico, del quale si rende conto facilmente colle ipotesi ammesse.

Si supponga che un conduttore di seconda classe, per esempio una soluzione salina nell'acqua, faccia parte del circuito di una pila, e sia perciò percorso dalla corrente. I ioni liberi positivi e negativi, che la soluzione contiene, non si muoveranno più indifferentemente in ogni senso, come quando il liquido non faceva parte del circuito; al contrario i ioni positivi si sposteranno prevalentemente in una direzione, quella della corrente, ed i ioni negativi prevalentamente in senso contrario. Pervenuti gli uni e gli altri ai limiti della soluzione, cioè là ove essa è in contatto colle altre parti del circuito, essi cederanno le loro cariche.

Intanto nuove molecole del sale si scinderanno in ioni elettrizzati, e questi seguiranno la sorte dei primi. La corrente elettrica in un elettrolita consiste appunto in questo trasporto, effettuato dai ioni, delle due elettricità in sensi opposti.

Intanto i ioni, i quali perdono le loro cariche giungendo sulle lamine metalliche, che collegano l'elettrolita al resto del circuito, danno luogo allo sviluppo visibile dei due nuovi corpi nei quali l'elettrolita rimane decomposto; e siccome si ammette, che tutti i ioni posseggano cariche eguali in valore assoluto, risulta spiegata la legge, dimostrata dal Faraday, secondo la quale la quantità di elettricità, che ha attraversato un elettrolita, è proporzionale alla quantità di elettrolita decomposto, o alla quantità di ciascuno dei due componenti depositati sull'una e sull'altra lamina metallica. A queste lamine si dà il nome di *elettrodi* e si dice *elettrodo positivo* o *anodo* quello che mostrerebbe appunto una carica positiva qualora, sopprimendo l'elettrolita, venisse aperto il circuito, ed *elettodro negativo* o *catodo* l'altro.

Questa speciale decomposizione del liquido, che accompagna colle descritte modalità il fenomeno della corrente elettrica, dicesi *elettrolisi*. Il ione, che si dirige verso l'elettrodo posi-

tivo, sarà naturalmente quello che è elettrizzato negativamente, e viceversa.

In generale si diranno corpi elettropositivi quelli che, come i metalli in generale, si separano sull'elettrodo negativo, e corpi elettronegativi quelli che si comportano all' opposto.

Nel caso considerato sono le forze elettriche che influiscono sul moto dei ioni e li dirigono, mentre nel caso d'una coppia voltaica a circuito chiuso, come la coppia rame, acido solforico, zinco, rame, i ioni del liquido e quelli dei due metalli, si muovono principalmente in virtù delle diverse velocità di diffusione, che essi posseggono.

Inoltre, sempre nel caso della coppia, insieme all'elettrolisi del liquido si ha la formazione di un nuovo composto (nell' esempio precedente è il solfato di zinco) per l' unirsi dei ioni elettronegativi del liquido con quelli di uno dei metalli. Ora, come è noto, ogni combinazione chimica svolge in generale del calore, ossia è una trasformazione d' energia potenziale chimica in energia termica, mentre nella decomposizione si ha una trasformazione inversa.

Bisogna dunque che l'energia calorifica, che si svolge nella formazione del nuovo sale, superi quella che sparisce, divenendo energia potenziale, nella scomposizione dell'elettrolita, giacchè, come si è visto or ora, la corrente elettrica generata dalla coppia può provocare l' elettrolisi d'un altro liquido inserito nel circuito, oppure può, come si vedrà fra poco, svolgere calore nel circuito stesso.

La costanza di carica dei ioni di diversa natura è conseguenza d' una seconda legge, scoperta pure sperimentalmente dal celebre Faraday, e cioè, che le quantità di diversi elettroliti, decomposte col passaggio d' una data quantità di elettricità, sono proporzionali ai loro equivalenti chimici.

Allorchè i ioni sono di natura gassosa, gli elettrodi si rivestono di bollicine, che in breve se ne staccano salendo alla

superficie del liquido, mentre in generale uno strato gassoso invisibile resta aderente agli elettrodi. Se i prodotti dell'elettrolisi sono liquidi o solidi (per esempio mercurio, o rame) a seconda della natura dell'elettrodo possono o separarsene o aderirvi saldamente. I processi industriali di elettrodeposizione dei metalli (galvano-plastica, doratura galvanica, nichelatura, ecc.) forniscono l'esempio e l'utile applicazione di questa adesione agli elettrodi dei ioni, al momento in cui essi perdono le loro cariche elettriche.

13. **Gli accumulatori.** — Il più delle volte, anche quando gli elettrodi sembrano restare inalterati, ad essi resta aderente uno strato eterogeneo non visibile, che dà luogo all'importante fenomeno della polarizzazione degli elettrodi.

Ecco in che consiste. Se si forma un circuito con due soli corpi, per esempio platino e acido solforico diluito, esso non può, per ragione di simmetria, essere sede di corrente elettrica. Ma se si apre quel circuito tagliando il platino, e fra le due metà di questo s'inseriscono altri corpi costituenti una pila voltaica, il nuovo circuito chiuso potrà essere sede di corrente elettrica, ed in tal caso l'acqua acidulata subirà l'elettrolisi. In conseguenza di questa si libererà sulla lastra di platino negativa dell'idrogeno, mentre sulla positiva si svolgerà dell'ossigeno. Veramente i ioni in cui si separano le molecole del liquido non sono esattamente questi; ma si svolgono i due gas nominati in seguito ad una azione chimica locale, di cui possiamo qui non occuparci.

Se dopo ciò si sopprime la pila e si ricostituisce il circuito primitivo formato semplicemente col liquido e col platino, si constata, che tale circuito è ora percorso da una corrente, la cui direzione è opposta a quella della corrente, che prima diede origine all'elettrolisi, e che dicesi corrente di *polarizzazione.* In realtà, dopo l'avvenuta elettrolisi, il circuito non può più

considerarsi come costituito da due soli corpi, in quanto che l'ossigeno e l'idrogeno restarono in parte aderenti agli elettrodi, quasi trasformandone uno da platino in ossigeno e l'altro da platino in idrogeno.

Gli elettrodi, così superficialmente modificati, diconsi *polarizzati*. Si può dire in breve, che il circuito platino-acido solforico diviene il circuito chiuso d'una vera coppia voltaica, allorchè i due elettrodi sono polarizzati. Similmente si può partire da un circuito, lungo il quale lastre di platino si alternano coll'elettrolita, e dopo il passaggio d'una corrente il sistema resterà trasformato, per effetto della polarizzazione, in una pila voltaica.

L'elettrolisi, che in questa *coppia o pila di polarizzazione*, dette comunemente *coppia* o *pila secondaria*, accompagna la produzione della corrente, in virtù della direzione che questa possiede, è tale, da recare atomi d'idrogeno all'elettrodo rivestito di ossegeno e viceversa. Si ricostituiscono allora le molecole d'acqua, che la corrente della vera pila aveva decomposte, e ciò dura sinchè sieno consumate le provviste gassose, cui è dovuta la polarizzazione dei due elettrodi.

Cessata la corrente di polarizzazione si potrà, coll'aiuto d'una pila, polarizzare di nuovo gli elettrodi della coppia secondaria, o come si suol dire, *caricarla* nuovamente, dopo di che se ne ricaverà una nuova corrente di polarizzazione, o come si suol dire, una nuova *scarica*.

Evidentemente la carica e la scarica d'una coppia secondaria o di una pila secondaria rappresentano due trasformazioni inverse di energia. Nella carica l'energia della corrente, invece di trasformarsi tutta in calore, come vedremo accadere sempre, quando non avvengano altre trasformazioni, si converte parzialmente in energia potenziale chimica separando i componenti dell'elettrolita. Nella scarica, questa energia chimica si trasforma in energia di corrente, che alla sua volta può essere

impiegata a generare calore, a mettere in movimento dei corpi (coi motori elettrici), a scomporre altri elettroliti etc.

Le adottate denominazioni di *carica* e di *scarica* sono le stesse che si adoperano pei condensatori, ma, come si vede, corrispondono qui a fenomeni assai differenti. Nel condensatore si *caricano* le armature di elettricità, ed è l'elettricità stessa che poi produce il fenomeno della scarica; invece nella coppia secondaria la *carica* consiste nella formazione o deposizione di certe sostanze sugli elettrodi, per via di elettrolisi, mentre la *scarica* non è altro che la produzione d'una corrente elettrica accompagnata da una nuova elettrolisi, in virtù della quale i depositi suddetti scompaiono.

La sostituzione del piombo al platino dà una coppia secondaria, la quale, sotto il nome di *accumulatore*, riceve applicazioni pratiche frequenti e notorie. In questo caso le sostanze che formano i due elettrodi sono piombo metallico e certi composti di piombo, i quali, con metodi speciali di fabbricazione, possono essere in tale abbondanza ed in condizioni così convenienti, che la corrente di scarica duri a lungo, anche se alquanto intensa, o in una parola possa far scorrere una quantità di elettricità assai grande.

In causa di piccole perdite inevitabili la quantità totale di elettricità, costituente la corrente di scarica, è un poco minore della quantità di elettricità costituente la corrente di carica; ma ciò non toglie, che l'impiego degli accumulatori rimanga conveniente pei diversi vantaggi, che essi offrono di fronte alle pile voltiane.

14. **Effetto calorifico della corrente.** — Un fenomeno, che costantemente accompagna il fenomeno della corrente elettrica, è il riscaldamento del conduttore sede della corrente stessa. Tale riscaldamento ha luogo qualunque sia la natura del conduttore, e cioè sia esso di prima classe od elettrolita, ed è dovuto

ad un continuo sviluppo di calore in tutta la massa del conduttore. Abbenchè il calore si produca in modo continuo, pure la temperatura del conduttore non cresce indefinitamente. Infatti, non appena esso acquista una temperatura superiore a quella ambiente, il conduttore perde calore a profitto dei corpi circostanti, e tale perdita diventa sempre più rapida, mano a mano che la sua temperatura aumenta. Ne consegue, che in breve il conduttore raggiungerà una temperatura costante tale, che il calore, che da esso si disperde in un dato tempo, sia eguale a quello, che nello stesso tempo si produce in esso per opera della corrente.

Questa temperatura costante del corpo sarà più o meno elevata, secondo che sarà più o meno abbondante lo sviluppo di calore e più o meno lente le perdite, e può esserlo tanto, da trasformare un solido in vapore incandescente, o da arroventare vivamente e rendere luminoso un solido refrattario. Questo modo di produrre alte temperature è utilizzato, come è noto, nella illuminazione elettrica, nei forni elettrici etc.

Mentre sulla temperatura raggiunta dal conduttore percorso dalla corrente costante hanno influenza i corpi circostanti, la quantità di calore sviluppata in un tempo dato, oltrechè dall' intensità della corrente, non potrà dipendere che dalle qualità fisiche e dalle dimensioni del conduttore.

Si comprende così, come inutilmente si sia per molto tempo cercata qualche relazione semplice fra la temperatura raggiunta dal conduttore, da una parte, e l' intensità della corrente e la resistenza del conduttore stesso, dall'altra. Ma quando il fisico inglese Joule misurò, non più la temperatura, ma la quantità di calore sviluppata dalla corrente, oltre che la resistenza del conduttore e l'intensità della corrente, egli potè trarre facilmente dalle sue misure le semplici leggi, che portano il suo nome. Queste leggi si enunciano dicendo: 1.°, che la quantità di calore sviluppata da una corrente in un conduttore è proporzionale

alla resistenza di esso, 2.°, che è anche proporzionale al quadrato dell' intensità della corrente, vale a dire che raddoppiando o triplicando etc. questa intensità, la quantità di calore non diviene già doppia o tripla etc., ma diviene quattro o nove volte etc. quella di prima. È poi evidente, che la detta quantità di calore sarà proporzionale al tempo, durante il quale si permette il passaggio della corrente.

In virtù della legge della conservazione dell'energia le due leggi di Ohm e di Joule sono l'una conseguenza dell'altra, e perciò, quando si consideri una di esse come sufficientemente dimostrata dalle esperienze, l'altra a rigore non ha più bisogno di essere sperimentalmente dimostrata. Ma in realtà entrambe furono riconosciute esatte con accurate e numerosissime misure fatte da vari fisici in epoche diverse.

Un fenomeno termico da considerarsi a parte, ma esso pure prodotto dalla corrente elettrica, è il fenomeno detto di *Peltier* dal nome del suo scopritore. Esso si produce quando, in un circuito eterogeneo, la corrente passa da un conduttore ad un altro di diversa natura, e consiste in uno sviluppo di calore oppure in una scomparsa di calore, per cui si manifesta nella superficie di separazione fra i due conduttori e nelle loro parti attigue, o un aumento o una diminuzione di temperatura. Si ha motivo di attribuire questo fenomeno alla differenza di potenziale di contatto fra i conduttori diversi, e più precisamente al lavoro meccanico, positivo o negativo, che deve esser fatto nel trasporto dell'elettricità dall'uno all'altro.

È bensì vero che la quantità di calore creata o distrutta, la quale dovrà essere proporzionale all'intensità della corrente e alla differenza di potenziale, non risulta proporzionale alla differenza di potenziale misurata coi metodi elettrometrici; ma in quest'ultima classe di fenomeni il mezzo dielettrico ha necessariamente un'influenza, della quale è stato impossibile finora tenere esatto conto.

Un fenomeno simile a quello di Peltier, e che si chiama fenomeno di Thomson, si produce, quando la corrente passa, non più da un metallo in un altro, ma da una porzione di conduttore ad un'altra aventi temperature differenti.

Se in un circuito formato da diversi conduttori, nel quale, se tutti sono di prima classe, non esisterà corrente, si riscalda o si raffredda una o più delle superficie di transizione fra conduttori diversi, subito nasce in generale una corrente, che chiamasi *corrente termoelettrica.*

Se poi, per esservi nel circuito dei conduttori di seconda classe, questo già era percorso da una corrente voltaica, col raffreddare o riscaldare qualche contatto la corrente stessa varia in generale d'intensità. In tal caso la corrente termoelettrica si somma (o si sottrae) colla corrente preesistente.

Le correnti termoelettriche producono necessariamente il fenomeno Peltier; e precisamente, considerando per semplicità un circuito bimetallico, si ha scomparsa di calore nella giuntura riscaldata e sviluppo di calore nell'altra. La quantità di calore scomparsa è maggiore di quella sviluppata, e la differenza, in omaggio al principio della conservazione della energia, è eguale alla quantità di calore, che la corrente svolge nei conduttori.

Le correnti termo-elettriche sono dunque strettamente legate al fenomeno di Peltier. Esse hanno ricevuto alcune applicazioni. Così, colla constatazione della loro esistenza in ispeciali apparecchi, detti *pile termoelettriche*, si ha indizio sicuro dell'esistenza di una differenza di temperatura fra le giunture del circuito, anche se tale differenza sia minima, di guisa che tali pile possono fornire i più sensibili strumenti termoscopici.

A. Righi.

CAPITOLO III.

Il campo magnetico.

15. **Le calamite.** — Esiste in natura un ossido di ferro, detto *magnetite*, che possiede la singolare proprietà di attirare il ferro. Tale proprietà, nota fin da antichi tempi, si manifesta più specialmente in certe regioni del minerale, chiamate *poli*, e può comunicarsi stabilmente a pezzi di ferro non puro o meglio di vero acciaio, i quali, se hanno la forma allungata di sbarra, presentano in generale i poli alle estremità. Una sbarra di acciaio in tali condizioni dicesi *calamita artificiale*, mentre si chiama *calamita naturale* il minerale che servì a comunicargli la proprietà *magnetica*.

Se una calamita rettilinea è mobile, in modo che possa comunque orientarsi nello spazio, essa assume una orientazione determinata, ed il piano verticale, che contiene allora la calamita, dicesi *piano del meridiano magnetico*. Nella bussola, strumento universalmente noto, la calamita o *ago magnetico* è mobile su un asse verticale e si orienta ponendosi lungo la traccia orizzontale del detto piano. Il meridiano magnetico fa un angolo, detto *declinazione* col meridiano astronomico; perciò è solo approssimativamente, che può dirsi, che una punta dell'ago d'una bussola sta rivolta verso il nord e l'altra verso il sud. Tuttavia, da questa orientazione si deduce il modo di distinguere fra loro i due poli d'una calamita, essendosi convenuto di chiamare *polo nord* quello rivolto all'incirca verso il polo boreale della terra, e *polo sud* l'altro polo della calamita medesima.

Fra i poli di due calamite si manifestano forze reciproche, analoghe alle forze elettriche. Infatti, poli omonimi si respingono e poli di nome contrario si attraggono; e di più, come

dimostrò con opportune e delicate misure quello stesso Coulomb, che scoprì le leggi delle forze elettriche, anche le forze magnetiche obbediscono alla legge dell'inversa dei quadrati delle distanze.

Una convenzione analoga a quella fatta per definire l'unità di elettricità ha servito a definire l'*unità di magnetismo* o *unità di polo magnetico*, e in base a tale convenzione si può dire, che le forze magnetiche sono proporzionali alle *quantità di magnetismo*, ossia alle *intensità dei poli*, fra cui quelle forze si manifestano.

Si chiamerà *campo magnetico* lo spazio in cui si manifestano le forze magnetiche; anzi si dirà forza magnetica in un dato punto, la forza che esisterebbe, se in quel punto si collocasse un polo magnetico eguale ad uno. E poichè la legge fondamentale delle forze magnetiche è identica a quella delle forze elettriche, tutte le proprietà del campo elettrico spetteranno pure al campo magnetico. Così si potrà parlare di forza magnetica in un dato punto del campo, di potenziale magnetico, di superfici di livello del campo magnetico, di linee di forza magnetica, etc. Oltre a ciò esiste un fenomeno d'influenza magnetica simile a quello dell'influenza elettrica, nel quale però il ferro ha un comportamento simile a quello dei dielettrici posti nel campo elettrico, e non già simile a quello dei conduttori. Ad ogni modo cessa la polarità magnetica sviluppata per influenza, quando il ferro viene sottratto all'azione del campo. Però, per poco che il ferro contenga impurità, rimane traccia dell'effetto prodotto dal campo; anzi se il ferro contiene certe sostanze straniere, come è il caso dell'acciaio, esso rimane stabilmente una vera calamita. Si esprime il fatto dicendo che l'acciaio è dotato di forza coercitiva.

Questo fenomeno dell'acciaio non ha il suo analogo fra i fenomeni elettrici descritti nel cap. I. Inoltre, fra questi ed i fenomeni magnetici esiste un'altra notevole differenza.

Mentre è possibile la trasmissione degli stati elettrici da un corpo ad un altro, o fra le parti di uno stesso corpo, se trattasi di un conduttore, nulla di simile accade per gli stati magnetici; in altri termini, non esiste una *conducibilità magnetica.*

Quando si crea una calamita, si producono in essa sempre dei poli di nome contrario di intensità equivalente, di guisa che la somma algebrica delle quantità di magnetismo, che si trovano in una calamita, è sempre zero.

In un conduttore elettrizzato per influenza si possono separare le due elettricità spezzando il conduttore e allontanando l'uno dall'altro i due pezzi; nulla di simile si ottiene con una calamita, giacchè, se viene spezzata, si creano alle estremità dei due frammenti, che prima si toccavano, nuovi poli di intensità eguale a quella dei poli primitivi.

Siccome poi questo fenomeno si può ripetere senza limite, e cioè si può seguitare a spezzare la calamita in frammenti di più in più piccoli, creando sempre in tal modo delle calamite complete, si è supposto con ragione, che i poli magnetici esistano sempre in ogni atomo o in ogni molecola della calamita, e che le manifestazioni di questa non siano che l'effetto risultante dalle azioni dei poli atomici. Si è andato poi anche più oltre, giacchè con grande verosimiglianza si suppone, che la polarità magnetica atomica esista nel ferro (e negli altri corpi *magnetici*, che in grado minore possiedono la stessa proprietà) prima anche di essere trasformato in calamita, per cui si rende conto della *calamitazione* o *magnetizzazione* nel modo seguente.

Quando una sbarra di ferro è posta nel campo magnetico, essa si *magnetizza per influenza*, come per influenza si elettrizza un dielettrico nel campo elettrico. Ma mentre quest'ultimo si *polarizza*, e cioè in ogni sua minima particella avviene la separazione dei due opposti stati elettrici, nel ferro semplicemente si orientano gli atomi magnetici, tendendo a disporsi coi loro assi nella direzione del campo. Se il campo si annulla, cioè

se si sottrae il ferro all'influenza magnetica, le forze molecolari riconducono gli atomi a quell'orientazione primitiva irregolare, che dissimulava l'esistenza della loro polarità. Però se il ferro non è puro, ossia non è *ferro dolce*, quel ritorno alle condizioni iniziali non è completo, ed è così, che si creano le calamite artificiali.

Vedremo fra poco che i più intensi campi magnetici si ottengono coll'impiego di correnti elettriche; sarà dunque a queste che si ricorrerà, quando si vorranno fabbricare delle calamite potenti.

Un tempo s'adottò generalmente l'ipotesi dei *fluidi magnetici*, analoga a quella dei fluidi elettrici, per ispiegare i fenomeni delle calamite; ma quella ipotesi si eliminò dalla scienza prima della sua gemella, allorchè fu scoperta l'azione magnetica delle correnti elettriche, e soprattutto quando l'illustre Ampère mostrò, come con correnti elettriche di forma opportuna possano riprodursi tutti gli effetti delle calamite, giacchè era naturale l'attribuire allora a correnti elettriche i fenomeni magnetici. anche quando tali correnti non erano percettibili.

16. **Campo magnetico delle correnti.** — La scoperta fatta dal fisico danese Oersted, quantunque intravvista assai prima dal Romagnosi, segnò essa pure un'epoca nello sviluppo dell'elettrologia. L'ago d'una bussola muta direzione, allorchè gli si avvicina in modo opportuno un conduttore percorso dalla corrente elettrica. Questo è il fatto semplicissimo, che doveva condurre più tardi a tante importanti cognizioni scientifiche e ad applicazioni svariatissime, e che venne subito utilizzato nella costruzione dei *galvanometri*, strumenti destinati a svelare l'esistenza delle correnti elettriche e a misurarle. Un galvanometro infatti comprende generalmente un circuito, che si fa percorrere dalla corrente, ed una o più calamite. O il circuito è mobile e fissa la calamita, o viceversa; in ogni caso la parte mobile si sposta

più o meno, a seconda dell'intensità della corrente. Si costruiscono oggi galvanometri la cui sensibilità è invero prodigiosa.

Il deviare dell'ago indica, che su di esso agiscono forze magnetiche. Il conduttore percorso dalla corrente crea dunque intorno a sè un campo magnetico. Occorre farsi una chiara idea di questo campo, e vi si riesce, in casi particolari, specialmente raffigurandosi le linee di forza.

È nota da lungo tempo una facile esperienza, che permette di vedere quale sia la forma approssimativa di quelle linee, e consiste nel distribuire abbastanza uniformemente della polvere di ferro sopra una lastra piana, p. es. di vetro, e nello scuotere leggermente la lastra mentre è nel campo magnetico.

Le particelle di ferro, magnetizzate per influenza, aderiscono in lunghe fila, per le attrazioni fra gli attigui poli eteronimi, e disegnano così le linee di forza. Gli scuotimenti della lastra sono necessari, in quanto essi liberano momentaneamente le particelle, dagli attriti, che ne ostacolerebbero il moto d'orientazione.

In tale esperienza si disegnano quelle linee di forza che giacciono nel piano della lastra; ma se in qualche punto di questa la forza magnetica è ad essa obbliqua, le particelle si magnetizzano e si orientano, non già per azione della forza magnetica, ma solo per quella della componente di questa presa secondo la lastra. Questa considerazione si deve avere ben presente onde non incorrere in errori d'interpretazione.

Questo metodo sperimentale di delineare le linee di forza in un campo magnetico può impiegarsi utilmente, anche quando il campo medesimo si debba a correnti, purchè queste siano alquanto intense.

Si consideri il caso il più semplice possibile, che è quello di un conduttore filiforme rettilineo di lunghezza illimitata, percorso della corrente. Anche senza ricorrere alla esperienza della polvere di ferro si scorge facilmente, osservando l'azione della corrente sopra un ago da bussola, che la forza magnetica

è perpendicolare al filo, per cui se la lastra MN (fig. 13), coperta di polvere di ferro, si dispone col suo piano perpendicolare al conduttore AB, si è sicuri che le linee di forza passanti pei vari punti della lastra giacciono nel piano della medesima. Il risultato dell'esperienza è il seguente: le particelle di limatura si dispongono in filamenti circolari aventi il centro sul filo. Dunque le linee di forza, nel campo magnetico creato da una corrente rettilinea, sono circonferenze giacenti in piani perpendicolari alla corrente e aventi su questa i loro centri. Queste linee di forza sono dunque linee chiuse, di modo che, se potesse esistere un semplice polo magnetico separato dal polo di nome contrario, esso si muoverebbe indefinitamente e con crescente

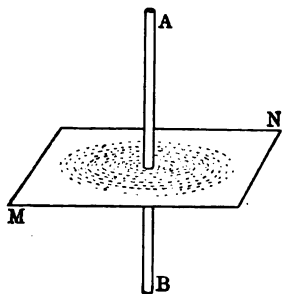
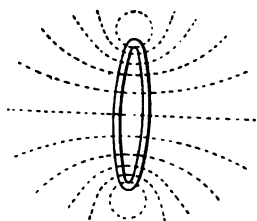



Fig. 13. Fig. 14.

velocità intorno al filo; ma siccome non possono esistere in un corpo che poli, la somma delle cui intensità è zero, così quel moto giratorio è irrealizzabile.

L'intensità della forza magnetica creata dalla corrente rettilinea (che, per l'origine che ha, chiamasi spesso *forza elettromagnetica)* decresce allontanandosi da essa, e se la distanza si rende doppia, tripla, etc. la forza diviene metà, un terzo etc. Essa varia dunque in ragione inversa della distanza. Inoltre l'esperienza mostra, che la detta forza è in proporzione dell'intensità della corrente, come del resto era da prevedersi.

Se il filo che guida la corrente, ha forme diverse dalla rettilinea, le linee di forza cessano in generale di essere circolari, pur conservando la forma di linee avvolgenti il filo. Se,

per esempio, questo è piegato a circolo (fig. 14), le linee di forza sono linee chiuse passanti entro il circolo, ma non sono più circolari. Ognuna di esse è disposta rispetto al circuito percorso dalla corrente, come un anello di catena rispetto all'anello consecutivo.

Come si vede, il campo magnetico può essere creato da correnti elettriche, come può essere creato da calamite; ed una volta che il campo esiste, ed è prodotto in una delle due maniere, si può chiedere se e come si potrebbe riprodurlo nell'altro modo. Si risponde facilmente a tale quesito, qualora si prendano a considerare da prima gli *elementi magnetici* e i circuiti chiusi di area piccolissima.

Come si è detto più sopra ogni atomo del ferro è in realtà ciò che appare essere una calamita, e cioè possiede due poli magnetici eguali e di nome opposto. Un tale sistema, costituito da due masse magnetiche eguali in valore assoluto ma di segno opposto e infinitamente vicine, suol chiamarsi un *elemento magnetico*. Esso può considerarsi come una calamita infinitamente piccola.

Orbene, s'immagini un filo chiuso su sè stesso in modo da racchiudere un'area piccolissima, disposta col suo centro in coincidenza di quello dell'elemento magnetico, e col suo piano perpendicolare all'asse (retta che unisce i due poli) dell'elemento. Basta supporre che quel piccolo circuito sia percorso da una corrente elettrica di conveniente direzione ed intensità, perchè il campo magnetico da esso creato risulti identico a quello prodotto dall'elemento magnetico, tanto che, se quella corrente venisse invertita, il suo campo e quello della calamita infinitesima si annullerebbero a vicenda.

Ciò posto, ecco come si troverà il sistema di correnti equivalente ad un dato sistema magnetico o viceversa.

Si consideri, per esempio, un circuito chiuso percorso da una corrente, e s'immagini una superficie limitata dal circuito,

e del resto di forma qualunque. Su questa superficie si potranno tracciare due sistemi di linee tali, che in ciascun sistema le varie linee, che lo costituiscono, si seguano ad intervalli infinitamente piccoli, e che le linee di un sistema non si taglino fra loro, ma taglino quelle dell'altro. La superficie resterà così divisa in innumerevoli aree infinitamente piccole.

Ora, è lecito supporre il contorno di ciascuna di esse percorso da una corrente d'intensità e di direzione eguale a quella della corrente che effettivamente esiste nel circuito, giacchè diffatti ogni porzione di quei contorni formati mediante i due sistemi di linee, appartenendo a due aree contigue, verrà percorsa da correnti eguali ed opposte. E siccome ognuna delle correnti supposte nel contorno delle piccole aree è equivalente nel modo descritto ad un elemento magnetico, così la corrente data equivarrà ad un sistema di elementi magnetici, disposti in modo da costituire ciò che chiamasi *lamina magnetica*, cioè una superficie avente sulle sue due faccie magnetismo di segno opposto. Ne consegue che un rocchetto, ossia un filo avvolto in più strati ad elica sopra un cilindro, equivarrà a tante lamine magnetiche orientate nello stesso verso, le quali, alla lor volta, equivalgono evidentemente ad una calamita avente l'asse in coincidenza con quello del rocchetto.

Se entro il rocchetto si colloca del ferro, le particelle di questo, orientandosi per effetto del campo creato dalla corrente. aggiungeranno il loro campo al primitivo, e si otterrà quell'utilissimo apparecchio detto *elettrocalamita*. Le applicazioni delle elettrocalamite sono innumerevoli, e facilmente lo si comprende. Invero, con una elettrocalamita è possibile far nascere a distanza ed istantaneamente una forza, l'attrazione magnetica sopra una massa di ferro, come pure il farla bruscamente cessare, giacchè infatti basta a questo intento chiudere ovvero aprire il circuito formato dal filo del rocchetto e da una pila; e si comprende facilmente di quanta utilità ciò possa riuscire in svariatissime circostanze.

La descritta identità d'effetti fra i circuiti percorsi dalle correnti e le calamite rende inutile ogni speciale ipotesi intorno alla causa dei fenomeni magnetici. Si può ammettere infatti, che la polarità magnetica degli atomi del ferro altro non sia che la manifestazione del campo generato da correnti esistenti intorno a ciascuno di essi.

Tale è l'ipotesi di Ampère, la quale non è meno accettabile di quella dell'esistenza di poli magnetici negli atomi, mentre ha il vantaggio di ricondurre due categorie diverse di fenomeni ad una origine comune.

Quando un circuito elettrico od un sistema di calamite si equivalgono, e cioè generano campi magnetici identici, essi si mostrano fra loro equivalenti anche in quanto alle forze che subiscono, posti che sieno in nn campo magnetico comunque generato. Per esempio, se una calamita subisce per parte di altre o di un sistema di correnti certe forze, le stesse identiche forze agiscono sul rocchetto o in generale sul circuito, che è equivalente a quella calamita. Si hanno dunque forze magnetiche anche fra due circuiti elettrici, poichè uno può considerarsi come causa di un campo magnetico, e l'altro allora ne subisce gli effetti, come il sistema magnetico che gli è equivalente. Però le forze, che in questo caso speciale si manifestano, soglionsi chiamare forze *elettrodinamiche*, come chiamansi *elettromagnetiche* quelle che si manifestano fra un circuito ed una calamita.

I più semplici casi di forze elottrodinamiche sono quelli offerti da correnti rettilinee indefinite. Per esempio, si abbiano due fili rettilinei paralleli e lunghissimi percorsi da correnti. Si manifesterà fra essi o una attrazione o una ripulsione, secondo che le correnti saranno dirette o nello stesso verso o in versi opposti; nell'una come nell'altra ipotesi la forza reciproca è proporzionale alla intensità delle due correnti e in ragione inversa della distanza che le separa.

Si sono calcolate le forze elettrodinamiche, anche per forme più complicate di circuiti, con un metodo dovuto ad Ampère, che consiste nel considerare le forze cercate come dovute ad azioni reciproche fra gli elementi infinitamente piccoli, in cui si può immaginare suddiviso ciascun circuito. Questa azione elementare può prendersi sotto varie forme, che pei casi realizzabili, cioè per due circuiti di cui uno almeno sia chiuso, conducono tutte a risultati identici. La formola adottata da Ampère presenta qualche vantaggio speciale, ma non ce ne occuperemo, onde non uscire dai confini che ci siamo imposti.

17. **Reciprocità fra i fenomeni elettrici e magnetici.** — La moderna teoria fa prevedere, che le correnti elettriche fornite dalla pila possono essere imitate fedelmente nei loro effetti magnetici, da correnti di *convezione* ossia di trasporto.

Si abbiano delle particelle elettrizzate p. es. positivamente, che si muovano velocemente ed uniformemente in linea retta seguendosi l'una all'altra ad intervalli regolari. Un tale trasporto elettrico deve produrre un campo magnetico analogo a quello di una corrente rettilinea giacente sulla traiettoria delle particelle, la cui intensità sia eguale alla quantità di elettricità, che le particelle in moto trasportano nell'unità di tempo, attraverso un punto qualunque della retta che esse percorrono. Anzi, quanto più piccolo sarà l'intervallo di tempo che passa fra il passaggio per un dato punto di due particelle successive, tanto più la convezione elettrica si avvicinerà a produrre un campo identico a quello della vera corrente. Certe esperienze sembrano confermare tale modo di vedere, le cui conseguenze, del resto, sono finora sempre state trovate conformi ai fatti.

La corrente equivalente alla convezione dovrà avere direzione opposta a quella del moto, se le particelle si supporranno avere carica negativa.

Suppongasi ora una convezione magnetica, e cioè una serie di poli magnetici tutti dello stesso nome, che si muovano come nel caso precedente si muovevano le particelle elettrizzate. Orbene, questa convezione magnetica creerà un campo elettrico simile al campo magnetico prodotto dalla convezione elettrica. Perciò le linee di forza in quel campo elettrico, nel caso in cui i poli magnetici percorrano una linea retta, saranno cerchi aventi il centro sulla retta percorsa e i loro piani alla retta stessa perpendicolari.

La reciprocità fra i due ordini di fenomeni apparirà meglio ancora nello stato variabile dei medesimi.

A. Righi.

CAPITOLO IV.

Lo stato variabile della corrente.

18. **Fenomeni dello stato variabile.** — Si è visto nei capitoli precedenti che le correnti costanti, oltre che creare il campo magnetico, producono due altre specie di effetti principali: l'elettrolisi ed il riscaldamento. Le correnti, la cui intensità varia in modo qualunque, producono, come è naturale, gli stessi effetti, senonchè il campo magnetico sarà variabile esso pure anzichè permanente, e gli altri due fenomeni, pur producendosi anche in tal caso, non seguiranno più le leggi, che per essi furono stabilite nel caso di correnti costanti. Anche la legge di Ohm cesserà generalmente d'essere valida per le correnti variabili, se non venga opportunamente generalizzata.

Lasciando per ora a parte lo studio del campo magnetico variabile e dei fenomeni ai quali dà luogo, è utile esaminare in modo speciale i fenomeni che prendono origine nei corpi percorsi da correnti variabili.

La scarica d'un conduttore elettrizzato o di un condensatore, offre un esempio di corrente variabile, ed un altro esempio si ha nel periodo iniziale di chiusura d' un circuito voltaico oppure nella fase di apertura. In questi casi lo stato variabile ha generalmente una durata brevissima. Così, nel caso del circuito voltaico, il periodo variabile può durare qualche secondo, solo quando il circuito è formato da un lungo cavo sottomarino; soltanto mettendo in comunicazione le due armature d'un condensatore carico per mezzo d'un corpo di grandissima resistenza, si riesce a rendere sensibile la durata della sua scarica. Ma, anche quando la durata è brevissima, si riesce perfettamente a constatare l'elettrolisi prodotta dalla scarica d'un condensatore, o il riscaldamento del conduttore attraverso il quale essa si propaga.

Questo riscaldamento del conduttore, che unisce le armature del condensatore, può essere assai notevole, tale anche da fondere o volatilizzare il conduttore stesso. Il fulmine, che non è che una potente scarica di un condensatore, le cui armature sono le nubi elettrizzate ed il globo terrestre, produce spesso, come è noto, simili violenti effetti calorifici, che del resto si possono fedelmente imitare in minor scala coi nostri condensatori.

Le leggi di Joule non valgono, nella forma enunciata più sopra, pel calore svolto dalle scariche. La quantità di calore così prodotta altro non è che l'equivalente dell'energia potenziale elettrica, ed è, per un dato condensatore, in proporzione del quadrato della carica posseduta da ogni armatura.

Un caso di corrente variabile utile a considerarsi è quello della carica d'un condensatore per mezzo di una pila. Non appena sono stabilite due separate comunicazioni fra i poli della pila e le armature del condensatore, ha origine una corrente elettrica, in virtù della quale le due armature ricevono dalla pila cariche di segni opposti. Tale corrente, che un galvano-

metro può mettere in evidenza, dura un tempo più o meno lungo, a seconda della maggiore o minore capacità del condensatore, e cessa, quando la differenza dei potenziali delle armature è arrivata ad essere uguale alla forza elettromotrice della pila.

Mentre esiste la corrente nel circuito della pila, una corrente esiste pure nel dielettrico separante le armature, e cioè la corrente di spostamento elettrico o corrente dielettrica, che mette l'etere in uno stato forzato, dal quale esce per tornare allo stato iniziale, generando una corrente di direzione opposta allorquando, soppressa la pila, si stabilisce una comunicazione metallica fra le armature. Questo esempio ha il pregio di far comprendere, come la corrente elettrica sia sempre a considerarsi come chiusa, giacchè, anche ove manca la continuità fra conduttori, essa è rappresentata dalla variazione nello spostamento elettrico nei dielettrici.

19. **La scintilla e la scarica nei gas.** — Gli effetti più importanti delle scariche sono quelli che si producono, allorchè esse attraversano violentemente corpi cattivi conduttori. In tal caso il corpo subisce ancora un notevole riscaldamento, come si riscaldano gli *elettrodi*, cioè i due conduttori fra i quali il corpo cattivo conduttore è inserito, e quest' ultima elevazione di temperatura è accompagnata da una azione meccanica di disaggregazione. Anche delle forti correnti di pila voltaica possono dare effetti di questo genere, purchè si scelgano opportuni elettrodi. Il carbone è sotto questo aspetto il più adatto. In virtù della sua facile disaggregazione e del riscaldamento, che in esso si produce, non s' interrompe il circuito quando, dopo averlo chiuso mettendone in contatto le estremità costituite da due bastoncini di quella sostanza, questi si separano alcun poco. La corrente si mantiene attraverso l' intervallo d' aria, colmato da particelle di carbone trascinate dall' un elettrodo all' altro, e dal

gas ambiente portato ad altissima temperatura. La luce che si svolge è vivissima, ed è precisamente quella utilizzata nelle così dette lampade elettriche ad arco.

Le scariche danno un fenomeno luminoso di simil genere; ma la sua durata è quella della scarica, e perciò brevissima. Gli si dà il nome di *scintilla elettrica.*

Che le scintille siano costituite da gas incandescenti, forniti sia dagli elettrodi, sia dal dielettrico in cui si formano, è provato con certezza coll'analisi della luce che da essa emana. Infatti lo spettro di questa luce, cioè l'imagine dilatata fornita dal prisma, la quale mostra allineate le diverse specie di radiazioni che costituiscono la luce stessa, è costituito dalle *righe* caratteristiche dei corpi menzionati, cioè dielettrico ed elettrodi.

Ma non è solo colla scarica d'un condensatore attraverso un dielettrico od un corpo poco conduttore, che si ha la produzione di luce; basta che un corpo conduttore circondato dall'aria o da altro dielettrico abbia un potenziale abbastanza elevato, onde la densità elettrica in qualche parte della superficie sua superi un certo valore critico, perchè avvenga una trasmissione dell'elettricità dal conduttore al dielettrico, accompagnata da produzione di luce, più o meno simile a quella della scintilla. Naturalmente, se il conduttore ha spigoli acuti o punte, è là che il fenomeno luminoso si produce, richiedendo in tal caso un potenziale poco elevato. Basta, per esempio, osservare nell'oscurità le punte dei pettini d'una macchina elettrica in azione, per vedere il fenomeno in parola.

Generalmente l'aspetto della luce è diverso per forma e per colore, a seconda che il conduttore ha carica positiva o negativa. Sopra una punta positiva nell'aria formasi una specie di fiocco di luce rossa o rosea con lunghi rami tortuosi, mentre sopra una punta negativa formasi una luce bianco-violetta di estensione assai minore con innumerevoli rami di breve lun-

ghezza. Si suol chiamare pennacchio (fig. 15) il fenomeno luminoso dato dalla elettrizzazione positiva, e *stelletta* o *bagliore* (fig. 16) quello dato dalle cariche negative.

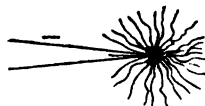
Fig. 15.

Fig. 16.

Anche per la produzione della scintilla propriamente detta è necessario disporre di determinati potenziali. In generale, è della differenza dei potenziali dei due elettrodi, che devesi tener conto, non dei valori assoluti dei potenziali medesimi, ed è soltanto allorchè la detta differenza arriva ad un certo valore, che improvvisamente si forma la scintilla e si produce la scarica del condensatore, le cui armature comunicano coi detti elettrodi.

Naturalmente la differenza di potenziale necessaria alla produzione della scintilla, che brevemente si chiama *potenziale di scarica*, cresce (ma non in proporzione) al crescere dello spessore del dielettrico, ossia della distanza fra i due elettrodi; ma dipende ancora da moltissime altre circostanze, come natura, forma, dimensioni, temperature degli elettrodi, direzione della corrente di scarica, allorchè gli elettrodi sono in un modo o in un altro fra loro differenti, natura, pressione e temperatura del dielettrico, etc. Inoltre, le radiazioni luminose, ed altre radiazioni scoperte di recente, come i raggi di Becquerel, modificano il potenziale di scarica, in seguito forse ad una modificazione speciale del gas ambiente, o di quello che aderisce agli elettrodi, modificazione che può essere prodotta pure da altre scintille vicine o da fiamme, e su cui avremo occasione di ritornare.

Fra le circostanze che influiscono sul potenziale di scarica, una merita di essere considerata a parte, ed è la pressione del dielettrico, quando questo sia gassoso. Diminuendo questa pres-

sione si diminuisce, e spesso di molto, il potenziale di scarica. Però, raggiunta una certa pressione, che suol essere di circa mezzo millimetro di mercurio, se si seguita a rarefare il gas, il potenziale di scarica aumenta di nuovo e con grande rapidità, sinchè assume valori grandissimi, maggiori di quello spettante alla pressione ordinaria. Colle rarefazioni estreme, che le moderne macchine pneumatiche permettono di realizzare, si giunge a rendere impossibile la produzione della scarica anche fra elettrodi vicini. Ma oltre a questo speciale andamento del potenziale di scarica, la rarefazione del gas produce cambiamenti notevoli nell'aspetto della scarica luminosa, come pure determina la manifestazione di fenomeni nuovi ed interessantissimi.

S'immagini di introdurre due elettrodi, comunicanti colle armature d'un condensatore o coi conduttori principali di una macchina elettrica, entro un recipiente di vetro, e di osservare le modificazioni che si producono nella luce della scarica, mano a mano che si diminuisce la pressione dell'aria contenuta nel recipiente stesso.

Dapprima la scintilla diviene meno rumorosa e meno splendente, ma più grossa, poi la luce si separa in due parti, di cui la parte positiva, cioè quella attigua al polo positivo o *anodo*, suol essere più estesa della parte attigua al polo negativo o *catodo*.

Le due porzioni di luce sono di colore un po' diverso, essendo nell'aria, rossa o rosea la luce positiva e violetta la negativa.

L'intervallo che le separa, che non sempre è rigorosamente privo di luce, è il così detto *spazio oscuro*.

Se la distanza fra gli elettrodi è così grande, che su di essi dapprima si formi separatamente il pennacchio e la stelletta, la rarefazione rende di più in più diffuse quelle due luminosità, sinchè si arriva alle stesse apparenze luminose, come allorchè si parte dalla vera scintilla.

Continuando nella rarefazione, le due luci impallidiscono e si allargano; ma bentosto la luce positiva si contrae verso l'anodo

perdendo terreno mano a mano che la rarefazione procede, mentre aumentano di estensione lo spazio oscuro e la luce negativa o bagliore, al punto che la luce positiva finisce collo sparire completamente.

Intanto il bagliore, o luce negativa, non solo si è esteso sempre più, ma si è anche staccato dal catodo. Si è così formato un nuovo spazio relativamento oscuro fra catodo e luce negativa.

Infine, con rarefazione ad alto grado, il nuovo spazio oscuro invade l'intero recipiente, che ormai è quasi privo di luminosità, e si manifestano certi fenomeni affatto nuovi.

Questi fenomeni si producono con tali modalità e presentano tali caratteri, che diviene naturale l'attribuirli a certi raggi rettilinei invisibili, uscenti dal catodo in direzione perpendicolare alla sua superficie.

Tali ipotetici raggi diconsi *raggi catodici*. Così, per esempio, a questo grado estremo di rarefazione del gas, le pareti del tubo

Fig. 17.

di vetro, entro il quale avviene la scarica, divengono luminose, ove possono essere colpite dai supposti raggi catodici, e per mostrare la propagazione rettilinea di questi basta porre, fra catodo *a* (fig. 17)

e parete, un corpo, che li arresti, per esempio una croce di alluminio, come in un noto apparato di Crookes; giacchè difatti appare proiettata sulla parete un'ombra nettissima della croce.

La natura dei raggi catodici è rimasta a lungo problematica. Mentre alcuni ammettevano l'esistenza di una vera radiazione propagantesi nell'etere, e citavano dei fatti in favore di questa opinione, altri con maggior ragione supposero, che dal catodo partissero innumerevoli particelle elettrizzate negativamente, e dotate di velocità grandissima. Fu il Crookes che formulò una simile ipotesi, detta della *materia raggiante*, perchè suppose, che le particelle lanciate dal catodo fossero le molecole del gas, che, pure a quella grande rarefazione, sono ancora in gran numero contenute nel recipiente.

Oggi viene ammessa generalmente l'emissione materiale dal catodo; ma si hanno forti ragioni per credere, che le particelle elettrizzate negativamente non siano molecole gazose, ma masse di gran lunga più piccole, dette elettroni, di cui dovremo più oltre trattare.

I raggi catodici possono dar origine ad altri fenomeni di grande importanza. Ogni volta che un corpo è colpito dai raggi catodici, esso diviene la sorgente di nuovi raggi, e cioè dei così detti raggi X, scoperti dal Röntgen, i qnali possiedono le note e singolari proprietà di agire fotograficamente, di eccitare la fosforescenza, e sopra tutto di attraversare, indebolendosi però più o meno, tutti i corpi, compresi i più opachi. Ma, per quanto attraente, questo argomento non può essere qui maggiormente sviluppato.

20. **Induzione.** — Come si è visto, una corrente elettrica costante genera nello spazio che la circonda un campo magnetico costante, ed una corrente d'intensità variabile produce un campo magnetico variabile.

Ora, mentre dei conduttori non magnetici elettrizzati o no, formanti o no dei circuiti chiusi, non subiscono nessuna azione

per parte d'un campo magnetico costante, nel quale sieno collocati, essi subiscono invece certe speciali azioni, quando il campo magnetico varii.

In particolare, se un circuito conduttore chiuso è posto in un campo magnetico variabile, accade in generale questo fenomeno, e cioè, che nel circuito si produce una corrente elettrica, la quale dura, sinchè dura la variabilità del campo magnetico intorno al circuito stesso. Quella corrente dicesi *corrente indotta* ed *induzione* il fenomeno descritto.

Il campo magnetico variabile può essere generato o da correnti elettriche variabili o da calamite variabili. Ma anche delle correnti o delle calamite costanti possono produrre un campo magnetico variabile, e perciò basta, che esse sieno opportunamente messe in movimento. La corrente indotta nel circuito fisso durerà quanto la variabilità del campo magnetico, in cui è collocato. Infine, si avrà l'effetto medesimo, cioè la produzione della corrente indotta nel circuito chiuso, anche quando il campo magnetico sia costante e prodotto da correnti o da magneti immobili, purchè il circuito indotto si muova opportunamente nel campo suddetto.

I fenomeni d'induzione furono scoperti dal celebre Faraday, e possono mettersi in evidenza per mezzo di esperienze semplicissime. Per esempio, si abbiano due circuiti (fig. 18), uno contenente una pila P ed un interruttore I, col quale lo si può chiudere od aprire a volontà, e l'altro permanentemente chiuso, nel quale è inserito un galvanometro G.

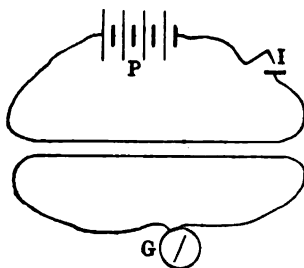



Fig. 18.

Per rendere più palesi i risultati si sogliono disporre i due circuiti in modo, che una porzione rettilinea dell'uno sia assai vicina e parallela ad una porzione rettilinea dell'altro.

Ogni volta che si chiuderà il circuito *induttore* (quello che comprende la pila), si produrrà nel circuito indotto una corrente di brevissima durata, e precisamente di durata paragonabile a quella dello stato variabile della corrente nel circuito induttore.

Interrompendo quest' ultima si otterrà una nuova brevissima corrente di direzione inversa alla precedente. In questa esperienza l'induzione è prodotta durante il periodo variabile della corrente induttrice, il quale è naturalmente accompagnato da un corrispondente periodo variabile del campo magnetico da essa generato.

Invece di chiudere o aprire il circuito induttore lo si può tener chiuso in permanenza, in modo che sia percorso da una corrente d' intensità costante, e poi avvicinarlo od allontanarlo dal circuito indotto, sia muovendo l'uno, sia muovendo l'altro circuito. Coll' avvicinamento si ha una corrente indotta, avente la stessa direzione di quella ottenuta chiudendo il circuito induttore, e coll' allontanamento si ha una corrente indotta di direzione opposta alla precedente.

Queste correnti durano sinchè varia, in causa del movimento, il campo magnetico, in cui si trova il circuito indotto.

Infine, la variazione di campo magnetico può essere ottenuta variando l' intensità della corrente nel circuito della pila, per esempio variandone la resistenza. Finchè la corrente in questo circuito aumenterà d' intensità, esisterà una corrente indotta diretta come la corrente indotta di chiusura; finchè invece la corrente induttrice diminuirà d' intensità, esisterà nel circuito indotto una corrente di direzione opposta alla precedente.

Una legge o regola, chiamata legge di Lenz, permette di prevedere la direzione della corrente indotta, quando questa sia ottenuta per mezzo di un moto relativo.

Questa regola è la seguente: la direzione della corrente indotta è sempre tale, che la forza elettrodinamica, esistente fra essa e la corrente induttrice, tenda ad opporsi al movimento.

Si sa, per esempio, che due circuiti paralleli percorsi da correnti di direzioni opposte si respingono. Ebbene, in virtù della regola precedente dovranno essere in tale condizione le due correnti, allorchè l'induzione è dovuta all'avvicinamento reciproco dei due circuiti. Dunque la corrente indotta ottenuta coll'avvicinamento dei due circuiti, e quindi anche quelle ottenute coll'aumento d'intensità o colla chiusura della corrente induttrice, sono dirette in senso opposto alla corrente induttrice medesima. Nei casi opposti la corrente indotta, invece di essere *inversa* è *diretta*, cioè colla stessa direzione dell'induttrice.

La regola di Lenz è in pieno accordo col principio della conservazione dell'energia. Infatti, in virtù di essa, comunque si muovano i circuiti, si deve effettuare un lavoro meccanico, ossia consumare dell'energia, in causa della forza reciproca fra le due correnti, la quale, come si è detto, tende ad opporsi al moto. Questa energia perduta è l'equivalente dell'energia, che compare nel circuito indotto p. es. sotto forma di calore svolto dalla corrente indotta.

Siccome un circuito chiuso percorso da una corrente può sempre essere surrogato, a parità di effetti, da una calamita, o in generale da un sistema magnetico, così si otterranno correnti indotte in un circuito chiuso, sia creando o distruggendo una calamita, sia aumentandone o diminuendone l'intensità, sia muovendola debitamente presso il detto circuito. Infatti, con ognuno di questi mezzi si può far variare il campo magnetico intorno al circuito, e quindi far nascere così nel medesimo la corrente indotta.

La legge di Lenz vale anche per la corrente indotta dovuta al moto relativo fra un circuito ed un sistema magnetico.

Questa legge non fa conoscere che la direzione della corrente indotta: per esprimerne l'intensità, oppure la *forza elettromotrice d'induzione*, alla cui esistenza può la corrente indotta essere attribuita, o più semplicemente la quantità totale di elet-

tricità messa in moto dalla corrente stessa, occorre introdurre una nozione, quella del *flusso di forza*, secondo la denominazione suggerita da una certa analogia idrodinamica.

Chiameremo *flusso di forza* attraverso un *tubo di forza elementare* (cioè un tubo formato da linee di forza passanti pel contorno di una piccolissima area presa sopra una superficie di livello) il prodotto dell'area stessa per l'intensità della forza agente su di essa.

Questa definizione può essere generalizzata, prendendo in considerazione, non più la sezione retta dal tubo di forza, ma una sua sezione obliqua.

Siccome in un medesimo tubo il flusso è costante, così per valutarlo si potrà, o moltiplicare la forza per l'area della sezione normale, o, ciò che vale lo stesso, moltiplicare la sezione obliqua per la componente della forza presa perpendicolarmente alla sezione stessa. Nel caso poi d'una superficie qualunque, il flusso di forza, che l'attraversa, non sarà altro che la somma di quelli corrispondenti alle singole aree infinitesime, in cui la superficie stessa può immaginarsi suddivisa.

Posta questa definizione, potremo enunciare la legge quantitativa dell'induzione dicendo, che la quantità di elettricità, messa in moto per induzione, è proporzionale alla variazione del flusso di forza magnetica passante entro il circuito indotto, divisa per la resistenza di questo. L'intensità della corrente indotta sarà allora proporzionale alle *velocità* con cui varia quel flusso di forza, divisa per la resistenza, e la forza elettromotrice d'induzione sarà semplicemente proporzionale alla detta velocità.

Con opportuna scelta delle unità di misura, le proporzionalità diverranno eguaglianze.

Un esempio semplicissimo varrà a chiarire queste nozioni. Si consideri perciò il campo magnetico terrestre, cioè il campo magnetico esistente ovunque nel nostro globo ed intorno ad esso, di cui non ci è completamente nota la causa, ma che è

presso a poco quale sarebbe prodotto da una potentissima calamita esistente entro la terra. Questo campo può, per un' estensione non troppo grande, essere considerato come *uniforme*, cioè tale, che la forza magnetica abbia ovunque la stessa intensità e la stessa direzione, quella cioè d' un ago magnetico, che fosse sospeso esattamente pel suo centro di gravità.

S' immagini poi un circuito circolare chiuso disposto col suo piano perpendicolarmente alla direzione del campo. Il flusso di forza, che lo attraversa, sarà il prodotto dell' intensità della forza magnetica per l' area del circolo, di cui il circuito forma la circonferenza.

Se questo circuito viene mosso in modo, che il suo piano si conservi perpendicolare alle linee di forza, il flusso che lo attraversa non varierà, e perciò non nascerà in esso veruna corrente indotta. Ma se invece lo si fa girare intorno ad un proprio diametro, in modo che dopo un quarto di giro il suo piano, da perpendicolare che era, divenga parallelo alle linee di forza, nella nuova posizione il flusso di forza, che attraversa il circuito, sarà nullo, nulla essendo la componente della forza secondo la perpendicolare al piano del circuito. Dunque, durante la rotazione il flusso di forza ha diminuito sino a zero, ed il circuito sarà stato percorso da una corrente indotta, costituita da una quantità di elettricità proporzionale al rapporto fra la variazione avvenuta nel flusso di forza e la resistenza del circuito. Se si continua la rotazione del circuito per un altro quarto di giro, il flusso di forza, che lo attraversa, crescerà di nuovo da zero sino al valore primitivo, e quindi il circuito stesso sarà percorso ancora da una corrente.

Sembrerebbe a prima giunta che questa dovesse avere nel circuito una direzione inversa alla precedente, perchè ora essa è dovuta ad aumento, anzichè a diminuzione del flusso di forza; ma il circuito ha intanto invertita la sua posizione rispetto alla direzione del campo.

Perciò nel circuito la nuova corrente indotta non è che una continuazione della precedente, avendo la stessa direzione. Siccome poi il flusso di forza varia col massimo di rapidità, quando il piano del circuito passa per la posizione in cui è parallelo alle linee di forza, così la forza elettromotrice della corrente indotta sarà andata crescendo sino ad un massimo nel primo quarto di rotazione, per decrescere sino a zero durante il secondo quarto.

Facendo ora compiere al circuito un altro mezzo giro, si otterrà una nuova corrente indotta di direzione opposta alla precedente, e di intensità crescente sino ad un massimo e poi decrescente.

Con una rotazione uniforme e prolungata del circuito si produrrà nel medesimo una corrente ondulatoria, tale cioè che l'intensità varia col tempo, come varia la velocità d'un corpo vibrante, che dia un suono semplice,

Anzi, la legge di variazione è la stessa nei due casi, sì che per analogia si potrà parlare di *ampiezza* della corrente ondulatoria (valore massimo dell'intensità) e di *periodo* della corrente (intervallo di tempo che separa due valori eguali e dello stesso segno dell'intensità), come si parla di ampiezza o di periodo d'una vibrazione sonora; e quando si abbiano a considerare più correnti ondulatorie di egual periodo, le quali non si annullino nello stesso tempo, si parlerà similmente della loro *differenza di fase*.

Se il circuito si apre in un punto, e lo si connette ad un altro circuito fisso, per esempio, per mezzo di pezzi metallici fissi, su cui strisciano le estremità mobili del primo circuito, anche il secondo circuito sarà percorso da una corrente ondulatoria.

Basterà immaginare, che il semplice circuito circolare sia surrogato da un circuito più complesso, e che il campo magnetico terrestre sia sostituito da un potente campo magnetico prodotto da elettro-calamite (le quali possono essere eccitate da porzione della corrente indotta convenientemente raddrizzata),

per passare dal semplice caso teorico considerato ai moderni *alternatori* o macchine a correnti alternate, tanto adoperate oggi nelle applicazioni industriali.

Se poi, con un congegno detto *commutatore* o *collettore*, si fa in modo, che si invertano le comunicazioni fra il circuito girante od il circuito fisso, nell'istante preciso in cui nel primo la corrente indotta s'inverte, nel circuito fisso si raccoglierà una corrente di direzione costante, e si arriverà così alle moderne *macchine dinamoelettriche* a corrente continua.

Anzi, se le variazioni d'intensità sono di grande frequenza, e meglio se più correnti indotte si sovrappongono con diverse fasi ma colla stessa direzione, l'intensità della corrente complessiva potrà risultare sensibilmente costante, come appunto accade nel caso delle dinamo.

Non potendo dar qui che questo cenno fugace, dovrà il lettore, che amasse conoscere queste macchine, rivolgersi ai numerosi trattati speciali oggi esistenti.

Non è soltanto in un conduttore filiforme chiuso in sè stesso, che si produce il fenomeno della induzione. Qualunque conduttore può essere sede di correnti indotte, e la teoria d'accordo coll'esperienza insegna che, quando varii bruscamente il campo magnetico, nel quale il conduttore è collocato, delle correnti si generano nella sua massa. Se la variazione del campo è istantanea, quelle correnti si formano solo alla superficie del conduttore, ma poi esse non cessano nel luogo ove si produssero, ed invece si trasportano gradatamente affievolendosi entro il conduttore, press'a poco come si propaga gradatamente il calore in un corpo riscaldato alla sua superficie. Anche nei circuiti formati da fili metallici la corrente indotta comincierà ad esistere alla superficie dei fili, prima di prodursi nelle parti interne. Se il campo magnetico è alternativo, e le alternazioni sono rapidissime, le correnti indotte restano confinate nelle parti del conduttore prossime alla superficie, e per uno spes-

sore tanto minore, quanto maggiore è la conducibilità del conduttore stesso e quanto più rapide sono le alternazioni; e lo stesso fenomeno ha luogo, ogni volta che una corrente alternativa percorre un conduttore. Ne consegue, che le correnti a rapide alternazioni incontrano nel conduttore una resistenza maggiore di quella che incontrerebbe una corrente costante, la quale invade l'intera sezione del filo.

Le correnti indotte nelle masse metalliche obbediscono alla legge di Lenz, e perciò tendono ad opporsi alla causa che le produce, se questa consiste in un moto relativo, per esempio nel moto d'una calamita presso la massa metallica o viceversa. Di qui la spiegazione di certi curiosi ed utili effetti, quali il rallentamento del moto d'una massa metallica, quando è in un campo magnetico, o il rallentarsi e lo spegnersi rapido delle oscillazioni d'un ago magnetico, quando è nelle vicinanze d'una massa di rame. Quest'ultimo fenomeno trova una utile applicazione nei galvanometri, nei quali appunto trovasi generalmente un blocco di rame circondante l'ago e destinato a spegnere prontamente le sue oscillazioni.

21. **Autoinduzione.** — Un fenomeno d'induzione si produce, anche quando si abbia un unico circuito, nel quale la corrente varii d'intensità.

Infatti, il campo magnetico variabile creato dalla corrente determinerà la produzione d'una forza elettromotrice d'induzione nel circuito stesso, la quale produrrà aumento di intensità, allorchè la corrente decresce e diminuzione d'intensità nel caso inverso. In una parola, l'induzione d'un circuito su sè stesso, ossia l'*autoinduzione*, ha per effetto di attenuare le variazioni d'intensità della corrente nel circuito. Questo effetto è paragonabile a quello dell'inerzia posseduta da un corpo in moto, in virtù della quale sono attenuate le brusche variazioni di

velocità; i volanti dei motori industriali agiscono appunto così in virtù della loro inerzia. Ma una simile analogia è puramente superficiale.

La forza elettromotrice d'autoinduzione ad un dato istante è proporzionale alla *velocità*, con cui nell'istante considerato varia l'intensità della corrente, come pure ad un coefficiente, che ha ricevuto il nome di *coefficiente di autoinduzione*, o semplicemente *autoinduzione*, il quale dipende dalla forma del circuito.

Esso è piccolo se il circuito è rettilineo, mentre assume valori elevati nel caso di un circuito avvolto ad elica o a spirale. Ritorna minimo se l'elica è doppia, ed uno dei rami serve di ritorno alla corrente che arriva per l'altro.

La corrente, che ad un istante qualunque percorre il circuito, si può considerare come somma di due termini, e cioè della corrente che esisterebbe, se non esistesse autoinduzione, e di quella dovuta a questo fenomeno. Quest'ultima si suol chiamare *estracorrente*. Essa è *inversa*, cioè di direzione opposta alla corrente principale, quando questa sta aumentando d'intensità, e *diretta* nel caso opposto.

Così, quando si chiude il circuito di una pila, si produce una estracorrente inversa, mentre si produce una estracorrente diretta durante il periodo variabile di cessazione della corrente per interruzione del circuito.

A queste estracorrenti è dovuto il fenomeno, dell'essere debolissima la scintilla di chiusura d'un circuito comprendente molte coppie voltaiche o molti accumulatori, e assai brillante la scintilla d'interruzione, specialmente quando il circuito possiede una grande autoinduzione.

22. Il rocchetto di Ruhmkorff. — Un istrumento che viene adoperato in esperienze svariatissime, e che in particolare

riesce comodissimo per produrre le onde elettriche utilizzate nella telegrafia senza filo, è il rocchetto di Ruhmkorff (fig. 19). Esso è un apparecchio funzionante per induzione, ed è perciò questo il luogo adatto per darne una descrizione sommaria.

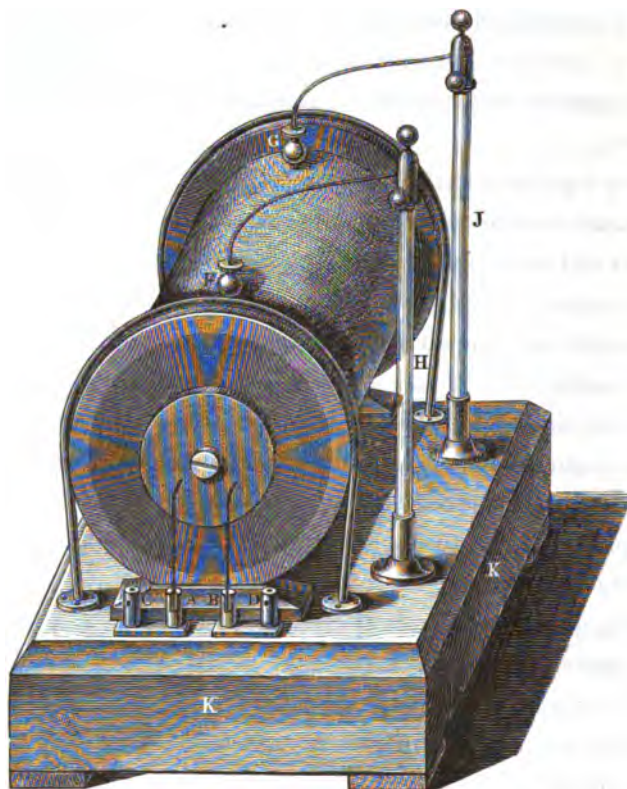



Fig. 19.

Esso si compone di due circuiti, uno dei quali comprende una pila o altra sorgente, che viene interrotto e poi nuovamente chiuso ad intervalli regolari e brevi. Nell'altro circuito prendono origine allora delle forze elettromotrici d'induzione che tendono a produrre una corrente inversa ad ogni chiusura del primo circuito, ed una diretta ad ogni apertura.

Sono le forze elettromotrici d' apertura, che l' apparecchio utilizza per produrre potenti scariche, le quali, col vantaggio della maggior comodità, possono sostituire in casi speciali quelle d' una macchina elettrostatica.

Il circuito induttore è formato da un filo di qualche millimetro di spessore, coperto di seta o di altro buon isolante, e avvolto ad elica sopra un cilindro costituito da un mazzo di fili di ferro.

Il filo induttore è sempre relativamente breve, giacchè non forma che pochi strati intorno ai fili di ferro, e spesso due soli. La sua resistenza deve differire il meno possibile da quella della pila o degli accumulatori, con cui è in circuito, tale essendo la condizione che assicura la massima magnetizzazione dei fili di ferro. Invero questi ultimi, insieme al circuito che li circorda, costituiscono una elettrocalamita, la quale, eccitata dalla corrente, genera un potente campo magnetico.

Il filo del circuito indotto è lunghissimo e sottilissimo, ed è avvolto ad elica in più strati intorno all'elettrocalamita descritta or ora, in modo da formare molte migliaia di giri.

Le linee di forza del campo magnetico, creato dall' elettrocalamita, percorrono in linea retta il fascio di fili di ferro, indi, divergendo da una estremità di questo ed incurvandosi raggiungono l' estremità opposta. L' intero flusso di forza è dunque compreso nel rocchetto indotto, in quanto che si possono trascurare le linee di forza ricurve, che possono penetrare nel rocchetto stesso nel loro andamento curvilineo da una estremità all'altra del ferro. Ne consegue, che il campo magnetico è assai bene utilizzato, per provocare le forze elettromotrici d' induzione nel circuito esterno. E siccome l' azione si produce su ciascuna delle numerosissime spire, di cui è formato, così la forza elettromotrice indotta è elevatissima, tale anzi da dare origine ad una differenza di potenziale fra gli estremi del filo sottile sufficiente alla produzione di lunghe scintille.

Però, in causa dell'autoinduzione del circuito induttore, l'interruzione di esso produce una variazione di campo magnetico, più rapida di quella, che è prodotta colla chiusura. Ne consegue, che la forza elettromotrice indotta nel circuito esterno è notevolmente maggiore in corrispondenza alle interruzioni, e così si spiega come, allontanando abbastanza l'una dall'altra le estremità F, G (fig. 19) del filo sottile, si abbiano scintille soltanto negli istanti, in cui viene interrotto il circuito induttore.

In causa delle grandi differenze di potenziale che prendono origine nel filo indotto, l'isolamento del medesimo deve essere assicurato nel modo migliore. A tale scopo e sull'esempio del primo costruttore Ruhmkorff, alla seta che riveste il filo si aggiunge della resina applicata allo stato di fusione, nell'atto in cui il filo viene avvolto in rocchetto. Alcuni poi sostituiscono alla resina un isolante liquido (petrolio, olio d'uliva, paraffina liquida), o ricorrono ad altri artifici.

Le scintille date dal rocchetto saranno tante quante le interruzioni; ma con una data sorgente di corrente nel filo induttore non si può oltrepassare una certa frequenza senza scapitare nella lunghezza delle scintille.

Tale diminuzione di forza elettromotrice indotta si deve al tempo impiegato dal ferro nello smagnetizzarsi. Infatti, con interruzioni troppo frequenti, il campo magnetico non arriva ad annullarsi. Per ottenere le maggiori differenze di potenziale con interruzioni rapidissime sarà quindi necessario aumentare assai la forza elettromotrice della corrente induttrice, e per conseguenza il valore massimo del campo magnetico.

La soppressione del ferro renderebbe bensì possibili delle frequenze grandissime, ma avrebbe pure per conseguenza una tale diminuzione di effetti, da rendere l'istrumento inadatto alla maggior parte degli usi, ai quali è destinato. Sarebbe quasi altrettanto dannoso il sostituire ai fili di ferro un cilindro massiccio della stessa sostanza. Infatti, mentre una tale sostituzione non nuoce-

rebbe affatto nel caso di una elettrocalamita destinata a funzionare a circuito chiuso, nel caso attuale invece avrebbe per risultato una notevolissima diminuzione nella lunghezza delle scintille, dovuta al prodursi di correnti indotte nella massa metallica (le così dette correnti di Foucault), la cui azione sul circuito indotto contrasterebbe quella della corrente principale.

Sono detti *interruttori* certi apparecchi, che servono a produrre automaticamente le interruzioni del circuito induttore. Ve ne hanno di più specie, ma basterà qui far conoscere le tre principali.

L'interruttore a martello oscillante è il più semplice, e consiste in una disposizione affatto simile a quella conosciutissima di una soneria elettrica, salvo le dimensioni della molla del martello o àncora di ferro e dei pezzi di contatto, le quali variano in certo modo in proporzione di quelle del rocchetto, e salvo la maggior accuratezza di costruzione. Nella sua posizione di riposo la molla, che regge il martelletto di ferro posto a poca distanza da una delle estremità del fascio di fili di ferro, tocca un pezzo metallico fisso, e la corrente, che passa nel filo induttore del rocchetto, è obbligata ad attraversare la superficie di contatto.

Se non che, magnetizzandosi il fascio di fili, esso attrae il martelletto inflettendo la molla, ciò che ha per conseguenza il distacco fra questa ed il suddetto pezzo fisso.

La corrente resta così interrotta, cala rapidamente la magnetizzazione del ferro, e la molla ristabilisce il contatto, dopo di che le stesse vicende si riproducono indefinitamente. La molla assume dunque un moto vibratorio, il cui periodo dipende dalle sue dimensioni, accompagnato da interruzioni della corrente collo stesso periodo.

Affinchè il contatto metallico si stabilisca senza ritardo, e onde togliere alcuni altri inconvenienti, si rivestono di platino le parti che devono toccarsi.

Questo interruttore non conviene ai grandi rocchetti, giacchè adoperandosi con questi una corrente induttrice molto intensa, le scintille, che si formano fra la molla e il pezzo fisso, fondono in breve e saldano insieme i due rivestimenti di platino, mettendo l'istrumento fuori d'uso. È soprattutto al distacco, che la scintilla dell'interruttore è più lunga e potente, ciò che è dovuto, come si disse, all'estracorrente. Se si potesse eliminare o attenuare quella scintilla, si avrebbe anche il vantaggio di abbreviare il periodo variabile della corrente induttrice, e quindi d'aumentare la forza elettromotrice. A questo risultato si perviene col far uso del condensatore di Fizeau. È un condensatore di capacità grandissima, per lo più formato da armature di stagnuola separate da fogli di carta paraffinata o verniciata alla gommalacca, collocato entro la base (fig. 19) del rocchetto, la quale a tale intento ha la forma di una scatola. Le due armature comunicano rispettivamente coi due pezzi metallici, fra i quali avviene l'interruzione della corrente induttrice. In causa della grande capacità, che così essi assumono, la differenza di potenziale che vi si forma scema grandemente, e la scintilla nell'atto della interruzione diviene piccolissima.

Sembra però che questa spiegazione della grande efficacia, che ha il condensatore di Fizeau, non sia sufficiente, giacchè l'esperienza insegna, che per un dato rocchetto esiste una certa capacità di condensatore, colla quale si hanno gli effetti massimi, mentre si dedurrebbe dalla spiegazione data, che quanto più grande è la capacità del condensatore, tanto più utile è l'azione sua. Sembra che, per ispiegare la funzione del condensatore, debbano prendersi in considerazione certi fenomeni di cui si parlerà più oltre, e cioè le oscillazioni elettriche e la loro risonanza; forse il massimo effetto del condensatore si ha, allorchè il periodo proprio d'oscillazione del circuito induttore è reso eguale a quello del circuito indotto, cioè quando i due circuiti sono in risonanza.

Pei grandi rocchetti è utile sostituire all'interruttore a martello vibrante quello a mercurio del Foucault (fig. 20), che però

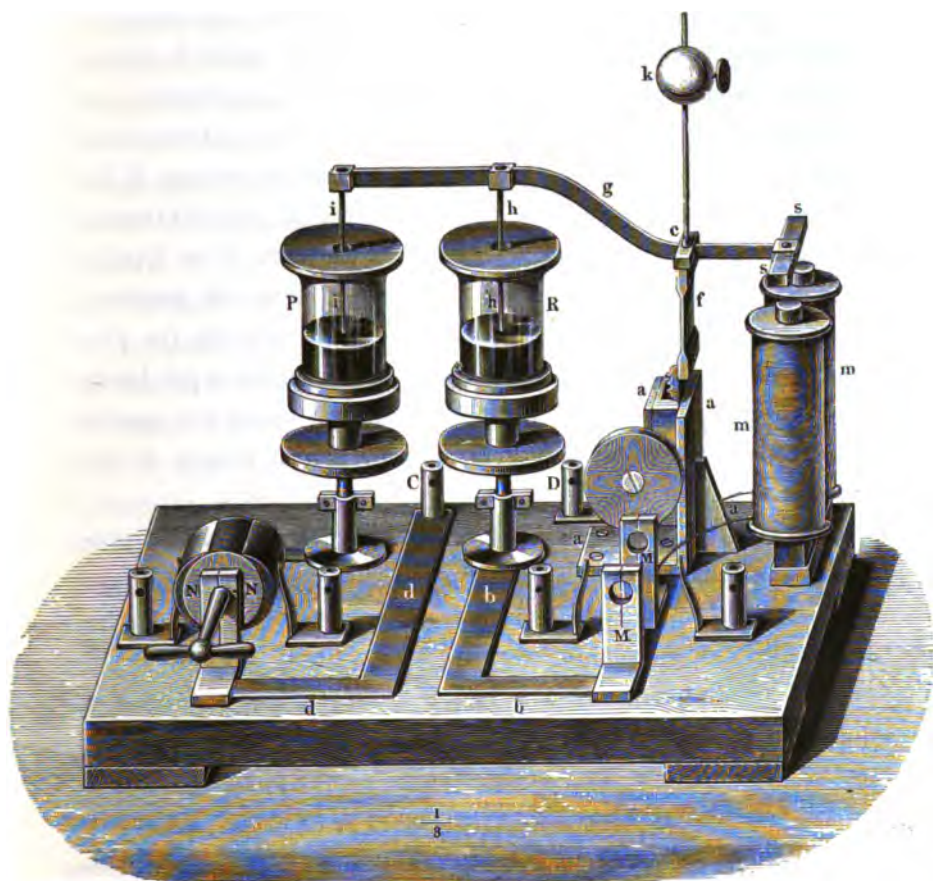



Fig. 20.

può considerarsi come una modificazione del primo. La molla vibrante *f*, che suol essere verticale, porta una sbarra rigida *g* oltre ad un'asticella con peso mobile *k*, destinato a variare il periodo d'oscillazione, ed è messa in moto da una elettrocalamita *m*, attivata da una corrente indipendente da quella del

rocchetto. La sbarra *g* porta perciò alla estremità fronteggiante l'elettrocalamita un pezzo di ferro *ss*, che da essa è attratto; si solleva allora l'altra metà della sbarra, ed un filo di platino *h*, ad essa fissato, esce dal mercurio di un sottoposto bicchierino R, interrompendo così la corrente ausiliaria. In tal modo la sbarra vibra in modo continuo come il martello d'una suoneria, ed un secondo filo di platino *i*, da essa portato, entra nel mercurio d'un secondo bicchierino P, ed alternativamente ne esce. È fra questi due ultimi conduttori, che si interrompe periodicamente la corrente induttrice del rocchetto. L'aggiunta d'un liquido isolante sul mercurio, per esempio uno strato di alcool assoluto, rende naturalmente più breve la durata della scintilla fra platino e mercurio, e quindi più brusca l'interruzione, e più lunga la scintilla fra le estremità del filo indotto. Anche con questo interruttore devesi far uso del condensatore di Fizeau, di cui del resto il costruttore suole munire ogni rocchetto.

Varie modificazioni dell'interruttore a mercurio furono proposte, specialmente allo scopo di renderne sempre più regolare il movimento, evitare l'ossidazione del mercurio o il suo mescolarsi col liquido isolante, variare entro limiti più lontani il periodo oscillatorio, etc. Per lo più l'interruzione si compie in questi interruttori in causa d'un movimento rotatorio o alternativo ottenuto con un piccolo motore elettrico.

Un terzo interruttore, che permette di ottenere frequenze elevatissime, per esempio più centinaia di scariche al secondo, senza scapito della loro lunghezza, è quello inventato recentemente dal Wenhelt e conosciuto col nome di interruttore elettrolitico. Esso è basato sul seguente fenomeno, da lungo tempo noto. Se nel circuito di una pila o d'una batteria d'accumulatori s'include dell'acido solforico diluito per mezzo di due elettrodi di platino presentanti una piccola superficie di contatto col liquido, e se si accresce gradatamente il numero di coppie

o di accumulatori, giunge un momento in cui la corrente diviene intermittente. Si vede allora sugli elettrodi e più specialmente sull'anodo, guardandolo nell'oscurità, un fenomeno luminoso, il quale è accompagnato da un suono più o meno acuto, il cui numero di vibrazioni per secondo è dato dal numero delle interruzioni della corrente nel medesimo intervallo di tempo. Tutto ciò si spiega tenendo conto di un fenomeno termico, che accompagna l'ettrolisi. Infatti, il platino si riscalda alquanto, quando la corrente è assai intensa, l'acqua che lo tocca si evapora, e la guaina di vapore così prodotta, interponendosi fra il liquido e l'elettrodo, interrompe il circuito. La scintilla, che si forma nell'atto della interruzione, è resa più brillante dall'estracorrente, ed è la causa della luminosità menzionata più sopra. Cessato il passaggio della corrente, il vapore si condensa o si svolge insieme all'ossigeno formatosi per elettrolisi, il contatto è ristabilito, e la stessa serie di fenomeni si riproduce indefinitamente. La fig. 21 mostra una delle forme date all'apparecchio. Il catodo è una grande lastra di piombo e l'anodo un filo di platino, che esce da un cannello di vetro, il quale circonda il conduttore, con cui il platino è in comunicazione. L'interruttore elettrolitico è messo in circuito col filo grosso del rocchetto di Rumkorff, il quale fornisce così quell'autoinduzione, la quale è necessaria al funzionamento dell'interruttore, e dal cui valore dipende il numero d'interruzioni per secondo.

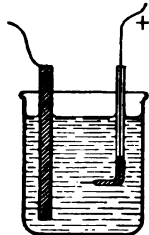



Fig. 21.

Con questo interruttore, invece di interrompersi otto o dieci volte al secondo, la corrente induttrice del rocchetto viene interrotta qualche centinaio di volte, ed altrettanto numerose sono le scariche, che si producono fra gli estremi del filo indotto. Occorre però, che la corrente induttrice sia assai più intensa di quella adoperata con un interruttore di Foucault, onde compensare la diminuzione di effetti dovuta alla circostanza, che

nel breve intervallo d'interruzione il ferro del rocchetto non ha tempo di smagnetizzarsi che in piccola parte. Occorreranno dunque per esempio 30 accumulatori, quando quattro basterebbero coll'interruttore a mercurio; ma in ogni modo con meno di 15 il fenomeno di Wehnelt non si produrrebbe. È poi evidente, che con questo interruttore il condensatore è inutile.

È noto, per lo meno sino dal 1877, che fenomeni simili a quelli testè descritti si producono anche lontano dagli elettrodi, qualora in qualche sua parte il liquido presenti una sezione ristrettissima. Fenomeni di tal genere furono da chi scrive descritti appunto nell'epoca indicata. Si sono oggi utilizzati nella costruzione di un interruttore elettrolitico (fig. 22), nel quale il liquido è diviso in due recipienti comunicanti fra loro attraverso un foro assai piccolo, ed in ciascuno dei quali è introdotto uno degli elettrodi. Il fenomeno termico e luminoso, che produce le interruzioni, ha luogo allora nel forellino, con meccanismo simile a quello già spiegato.

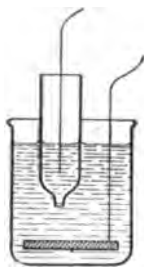



Fig. 22.

I *trasformatori* sono apparecchi simili al rocchetto d'induzione descritto. Anche nei trasformatori esiste un nucleo, generalmente chiuso, formato da fili o lamine di ferro, sul quale sono avvolti due circuiti distinti, aventi un numero di spire differenti. Se una corrente elettrica alternativa percorre uno dei circuiti, si forma nell'altro una corrente avente gli stessi caratteri, ma nella quale i valori massimi dell'intensità e della forza elettromotrice sono mutati, l'uno in un senso, l'altro in senso opposto, a seconda del rapporto fra i numeri di spire dei due circuiti. Per mezzo di tali strumenti si possono dunque variare i due termini, dal prodotto dei quali risulta l'energia della corrente.

Un trasformatore speciale, adatto per correnti alternative di grandissima frequenza, come quelle che vedremo prodursi nella scarica dei condensatori o dei semplici conduttori, è stato qualche

volta adoperato anche nella telegrafia senza fili. È una specie di rocchetto di Ruhmkorff senza nucleo di ferro, e i cui due circuiti sono isolati in un modo assai perfetto, per esempio per essere immersi in un liquido isolante. Quando una scarica oscillante (veggasi la Parte Seconda, Cap. I, § 25) si fa passare in quello dei circuiti, che è formato col minor numero di spire, si forma per induzione una scarica analoga nell'altro circuito, e fra le estremità di questo possono aversi scintille assai più lunghe, di quella data dalla scarica inducente.

Spesso un tale trasformatore è adoperato insieme al rocchetto, servendo allora questo a caricare il condensatore, la cui scarica si fa passare pel più corto dei due circuiti di quello.

23. **Il campo elettromagnetico.** — Il moderno concetto, che è il fondamento della teoria di Maxwell, secondo la quale l'energia elettrica ha principalmente sede nei dielettrici, ha condotto ad una rappresentazione dei fenomeni dello stato variabile, della quale occorre dar qui una qualche idea generale per quanto è possibile di farlo senza ricorrere a metodi matematici. Si tratta perciò di generalizzare i fatti e le leggi richiamati nel presente e nel precedente capitolo, ammettendo che alle correnti di spostamento, o correnti dielettriche, spettino le stesse proprietà, che sono state riconosciute alle correnti di conduzione. Una generalizzazione di questo genere fu fatta già nel § 17, quando si ammise, che una corrente di convezione, cioè un trasporto di elettricità effettuato da corpi elettrizzati in moto, abbia tutte le proprietà d'una corrente conduttiva. La generalizzazione, di cui ora si tratta, non è meno intuitiva; ma essa richiede, che si parta dalle leggi dell'elettromagnetismo e dell'induzione espresse, non più nella forma, colla quale furono esposte nei § 17 e 20, che è quella alla quale le esperienze direttamente conducono, ma sotto una forma differente, che meglio si presta allo scopo in vista. Non si potrebbe però dimostrare,

che la nuova forma è equivalente alla primitiva, in modo abbastanza chiaro, senza far uso di calcoli, e quindi senza troppo allontanarsi dall' indole, che al presente libro si vuole conservata.

A semplificare l'esposizione è utile dare prima una nuova definizione.

S'immagini tracciata in un campo di forza, sia elettrico sia magnetico, una linea qualunque, e si supponga fatto il seguente computo. Divisa la linea in una infinità di piccoli tratti, ciascuno dei quali, per la sua piccolezza, possa considerarsi come un piccolo segmento rettilineo, si moltiplichi la lunghezza del medesimo per la componente della forza che su di esso agisce (o meglio agirebbe qualora vi si trovasse un' unità di elettricità o rispettivamente di magnetismo), presa secondo la direzione del segmento, poi si faccia la somma di tutti i prodotti analoghi relativi all' intera curva. Il risultato, che si ottiene, non sarà evidentemente altro che il lavoro della forza relativo al trasporto di una unità di elettricità, o rispettivamente di magnetismo, da un capo all'altro della curva. Nel caso d'un campo elettrostatico questo lavoro non è altro che la differenza di potenziale fra gli estremi della curva, ossia la *forza elettromotrice* esistente fra essi.

Se la curva è chiusa ed è tutta contenuta in un dielettrico omogeneo, quel lavoro è nullo; e lo stesso accade per un campo magnetico prodotto da calamite.

Ma vi sono casi, come appunto si vedrà fra poco, in cui il lavoro, calcolato nel modo che si è detto, e che si chiama *flusso di forza lungo la curva* (spesso anche *integrale della forza lungo la curva*) è differente da zero per una curva chiusa.

Premessa questa definizione del flusso lungo una linea, da non confondersi con ciò che si chiama flusso attraverso una superficie, si prenda in considerazione il campo magnetico dovuto ad una corrente rettilinea ABC (fig. 23), e sia DEF una delle

sue linee di forza magnetica, che sappiamo essere di forma circolare, col centro su AC e in piano perpendicolare alla corrente. Un polo magnetico unità, che possa scorrere su questa linea, sarà continuamente sospinto dalla forza magnetica, e ad ogni giro intero intorno alla corrente la forza stessa compirà un certo lavoro. Questo lavoro, che si chiamerà *flusso di forza lungo la linea* DEF, è evidentemente eguale al prodotto della forza per la lunghezza della circonferenza DEF.

Se si considera un' altra linea di forza D'E'F' di raggio differente, il flusso di forza lungo di essa sarà eguale al precedente, giacchè difatti, mentre la lunghezza della linea varia in proporzione del raggio, la forza magnetica varia, come sappiamo, in proporzione inversa, di modo che il prodotto delle due quantità, che è poi il flusso, rimane invariato, e proporzionale solo all' intensità della corrente ABC, perchè a tale proporzionalità soddisfa la forza magnetica. Si potrà dunque dire, che per qualsiasi linea di forza il flusso di forza magnetica lungo di essa è eguale all' intensità della corrente moltiplicata per un fattore numerico, che si dimostra poi essere non altro che il quadruplo del notissimo rapporto esistente fra la circonferenza e il diametro d' un medesimo circolo.

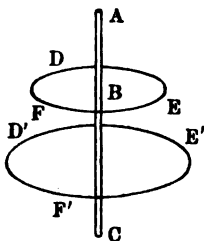
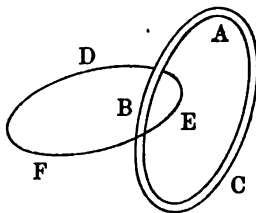



Fig. 23. Fig. 24.

Ma si dimostra altresì che il flusso di forza magnetica rimane invariato, se, invece di considerarlo lungo una linea di forza, lo si considera lungo una linea chiusa qualunque che abbracci la corrente, come pure se, come nella fig. 24, il filo ABC per-

corso dalla corrente abbia una forma qualunque di linea chiusa collegata alla linea DEF, come lo sono due successivi anelli di una catena. Dunque, per qualsiasi circuito percorso da una corrente, il flusso di forza magnetica lungo una linea chiusa *concatenata* al circuito, è eguale alla intensità della corrente moltiplicata pel fattore numerico definito più sopra.

Ne consegue che, se entro la stessa curva DEF passano più correnti, il flusso diverrà eguale al detto fattore moltiplicato per la somma delle intensità di quelle correnti, ossia moltiplicato per la quantità totale di elettricità che passa nell' unità di tempo attraverso una superficie qualunque avente per contorno la linea chiusa. In tal modo si enuncia una legge, che in fondo equivale a quella da cui si presero le mosse, ma che facilmente potrà poi applicarsi alle correnti dielettriche. Ciò facendo essa diverrà una relazione esistente per ogni posizione del dielettrico fra il fenomeno elettrico di spostamento e la forza magnetica ivi esistente. Si supponga dunque che entro la curva chiusa DEF, lungo la quale computiamo il flusso di forza magnetica, passino, non più correnti conduttive, ma correnti dielettriche, ossia si supponga la curva chiusa, tracciata tutta in un dielettrico la cui polarizzazione sta variando. Si potrà allora dire, che la corrente dielettrica o, se si vuole, la variazione per unità di tempo dello spostamento elettrico totale attraverso una superficie qualunque, moltiplicata pel solito fattore numerico, è eguale al flusso di forza magnetica lungo il contorno della superficie stessa.

È bene notare, che quanto si è detto qui rispetto al flusso di forza magnetica di una corrente chiusa ABC (fig. 24), non vale, quando ad essa si imagina sostituita la lamina magnetica equivalente. Infatti, in tal caso non è possibile far percorrere ad un polo magnetico la curva chiusa DEF, senza attraversare la lamina. Ora, durante il tragitto entro la lamina da una delle sue faccie alla faccia opposta, si compie un lavoro eguale e contrario a quello compiuto lungo la parte rimanente

della curva, di guisa che il lavoro totale è nullo per un giro intero. E così deve essere appunto in un campo magnetico dovuto a calamite.

Una relazione analoga a quella ora stabilita si desume dalla legge dell'induzione, quando si ammetta, ciò che del resto tacitamente si è sempre fatto, che una forza elettrica d'origine magnetica in nulla differisca da una forza elettrica d'origine elettrostatica, nello stesso modo che nessuno ha mai dubitato, che una forza magnetica dovuta a correnti in nulla differisca da una prodotta da calamite.

Ora sappiamo che, quando varia il flusso di forza magnetica passante per entro ad un circuito metallico chiuso, nasce in questo una forza elettromotrice d'induzione proporzionale alla variazione nell'unità di tempo del detto flusso.

Nel caso di un mezzo dielettrico si può considerare il circuito come una linea chiusa ideale, ed ammettere che lungo tale linea si produca, in causa della variazione magnetica, una *corrente dielettrica* indotta, e quindi una forza elettrica, il cui flusso lungo la linea chiusa sostituisca in questo caso ciò che si chiamava forza elettromotrice nel caso del circuito metallico. La legge dell'induzione, nel caso dei dielettrici, si può dunque esprimere dicendo, che la variazione nell'unità di tempo del flusso di forza magnetica attraverso una superficie qualunque è proporzionale al flusso di forza elettrica lungo il contorno della superficie stessa.

Questo enunciato diviene perfettamente analogo al precedente, quando vi si introduce, in posto del flusso di forza magnetica, la variazione di *spostamento magnetico* nell'unità di tempo; ma occorre chiarire bene il significato di questo spostamento.

Poichè il campo magnetico delle calamite è perfettamente analogo al campo elettrostatico, è naturale, che per avere una imagine di quello, si ricorra a concetti simili a quelli, che servono a rendere ragione di questo. Si ammette dunque che l'etere

(libero o contenuto in un dielettrico) oltre che essere suscettibile di spostamento elettrico, possa subire anche lo spostamento magnetico, cioè un'altra specie di deformazione elastica, probabilmente rotatoria o di torsione. Come si ammise, che lo spostamento elettrico fosse proporzionale alla forza elettrica, così si dovrà ammettere, che lo spostamento magnetico sia proporzionale alla forza magnetica. Infine, le apparenti attrazioni e ripulsioni a distanza fra le calamite si spiegheranno come effetto delle reazioni elastiche dell'etere, eccitate dallo spostamento magnetico. Come si vede, bisogna attribuire all'etere due specie di possibili deformazioni, legate fra loro dalle relazioni, che qui abbiano cercato di stabilire.

Essendo ora lo spostamento magnetico proporzionale alla forza magnetica, il flusso di questa attraverso una data superficie sarà proporzionale allo spostamento magnetico totale attraverso la superficie stessa, e la variazione del primo nell'unità di tempo sarà proporzionale a quella del secondo. Potremo dunque modificare l'enunciato desunto dalla legge dell'induzione sostituendo lo spostamento al flusso di forza. Siccome poi il fattore di proporzionalità fra il flusso di forza elettrica lungo il contorno della superficie e la variazione di spostamento magnetico attraverso di essa, si dimostra essere il medesimo fattore numerico più volte menzionato, così i due enunciati, cui siamo giunti, potranno riunirsi dicendo che: *quando in un dielettrico esistono fenomeni elettromagnetici, la variazione nell'unità di tempo dello spostamento* $\left\{\begin{matrix}\textit{elettrico}\\ \textit{magnetico}\end{matrix}\right.$ *attraverso una superficie, moltiplicata pel solito fattore numerico, è eguale al flusso di forza* $\left\{\begin{matrix}\textit{magnetica}\\ \textit{elettrica}\end{matrix}\right.$ *lungo il contorno della superficie stessa.*

Per giungere a questo teorema si sono introdotte certe ipotesi relative alla sede dei fenomeni, e alla parte che prende

l'etere nella loro produzione. Spetta dunque alla esperienza il dimostrare se esse siano accettabili. Orbene, la desiderata conferma è stata ottenuta, bensì indiretta, ma ampia e sicura:

Applicando ai due precedenti enunciati certi metodi di calcolo, che qui non possono trovar posto, si sono da essi dedotte certe formule, le quali costituiscono delle relazioni generali fra la forza elettrica e la forza magnetica, per un istante qualsiasi e per ogni punto del dielettrico, in cui hanno sede fenomeni elettromagnetici. Da tali formole, date dal Maxwell e più tardi trasformate dal Hertz, si è dedotto in particolare, che quando avvenga una perturbazione elettrica in un punto, questa produce delle modificazioni nelle dette forze, dapprima nella regione immediatamente vicina, poi a grado a grado in quelle più lontane. In altri termini, le perturbazioni elettriche (o per dir meglio elettromagnetiche, in quanto che, come si è visto, i due fenomeni elettrico e magnetico sono, nello stato variabile, fra loro collegati) si propagano nei dielettrici o nell'etere con una certa velocità, che è poi uguale a quella della luce, vale a dire in questo ultimo caso colla velocità di circa trecentomila chilometri al secondo. Se la perturbazione elettromagnetica è periodica (e se ne vedranno nella parte seconda degli esempi), il fenomeno elettromagnetico diviene sostanzialmente identico alle onde luminose, giacchè appunto le forze elettriche e magnetiche variano nel tempo e nello spazio, come, per esempio, la velocità delle particelle in un sistema di onde. È naturale quindi il supporre, che ciò che si chiama luce (e quindi anche il calore raggiante) altro non sia che un fenomeno d'onde elettromagnetiche. Secondo questa *teoria elettromagnetica della luce*, ormai universalmente accettata, un raggio luminoso non è che una direzione in cui si propaga dell'energia elettromagnetica; tale direzione è perpendicolare (nei mezzi isotropi) alle due forze, le quali sono pure fra loro ad angolo retto.

Le esperienze di Hertz, allo studio delle quali è specialmente dedicata la Seconda Parte, hanno verificato queste ed altre delle conseguenze che si traggono dalla teoria di Maxwell, e queste sono le verificazioni indirette, a cui si è fatto più sopra allusione.

Però questa teoria, come si è detto già, non può considerarsi come un edificio compiuto, ma piuttosto come l'ossatura principale, già solida e sicura, su cui l'edificio sarà poi condotto a compimento. Per esempio, le formole di Maxwell danno bensì per la velocità di propagazione delle onde valori diversi da un dielettrico all'altro, ma indipendenti dal periodo delle oscillazioni, mentre è noto, che la velocità della luce nei corpi trasparenti dipende dal periodo vibratorio, ciò che costituisce il fenomeno della *dispersione*.

Ora, riflettendo che nelle teorie meccaniche della luce, per render conto della dispersione e di altri fenomeni si dovette tener conto della presenza nell'etere degli atomi della materia ponderabile, sembra verosimile già *a priori*, che assumendo il concetto della struttura atomica dell'elettricità, si possa riescire a completare la teoria di Maxwell. Questo modernissimo concetto sembra ad ogni modo fondato sopra una così logica interpretazione dei fenomeni di scarica e soprattutto di quelli della elettrolisi, che mi pare conveniente darne un cenno nel chiudere questa Prima Parte.

24. **Gli atomi elettrici o elettroni.** — I fenomeni dell'elettrolisi e le relative leggi (§ 12) hanno condotto ad imaginare, che gli atomi o gruppi atomici, dall'unione dei quali risultano formate le molecole dei corpi composti, posseggano delle cariche elettriche, positive per gli uni negative per gli altri, ma eguali in valore assoluto, non solo per i due ioni formanti un dato composto, ma per i ioni d'ogni specie. Consideriamo in partico-

lare un determinato corpo, per esempio il cloruro sodico o sale comune. Ogni sua molecola si considera costituita da un atomo del metallo sodio elettrizzato positivamente e da un atomo del metalloide cloro caricato d'elettricità negativa, e, secondo ogni probabilità, ciò che si chiama forza d'affinità, e cioè la causa per la quale quegli atomi rimangono uniti, consiste sopra tutto nella reciproca loro attrazione elettrica.

Se il sale viene disciolto, una parte più o meno grande delle sue molecole rimane dissociata, cioè si separano i loro ioni, e questa parte è relativamente tanto più considerevole, quanto maggiore è la diluizione, cioè quanto più grande è la quantità d'acqua adoperata per sciogliere una determinata quantità di sale. Verosimilmente, durante il loro movimento incessante, la cui energia cinetica contribuisce a costituire ciò che dicesi calore contenuto nel corpo, potrà accadere, che ioni liberi si riuniscano a formar molecole e molecole si scindano in ioni; ma vi sarà una compensazione fra queste opposte vicende.

Se la soluzione fa parte di un circuito percorso da corrente, i ioni liberi, obbedendo alle azioni elettriche, si accumuleranno agli elettrodi, si deporrà del sodio al catodo e del cloro all'anodo, nuove molecole mano a mano si dissocieranno e l'elettrolisi continuerà indefinitamente, o almeno sinchè passerà una corrente nel liquido. Se si sostituirà al cloruro sodico un altro sale qualunque, i nuovi ioni si comporteranno in modo analogo, e, non ostante la diversità della loro natura chimica, le cariche di ciascuno saranno identiche a quelle dei ioni del cloruro sodico, e ciò in virtù della seconda legge di Faraday.

Si è così condotti a supporre, come ebbe a notare l'illustre Helmholtz sino dal 1881, che la carica d'un ione sia una quantità fissa di elettricità, come l'atomo d'un corpo qualunque è una quantità fissa di quella certa qualità di materia. E nello stesso modo che tale atomo si considera come indivisibile, è naturale il supporre, che la quantità d'elettricità fissa e costante

costituente la carica d'un ione sia una quantità indivisibile, ossia un atomo di elettricità.

Contrariamente a quanto potrebbe sembrare, questo concetto degli atomi elettrici o *elettroni*, secondo la denominazione che oramai è generalmente accettata, non implica necessariamente che ciò, che dicesi elettricità, sia una materia qualunque; ma, come si vedrà, rimane lecita ancora l'ipotesi, secondo la quale ciò che chiamasi atomo elettrico consiste in una condizione speciale localizzata della materia, o meglio dell'etere universale.

L'elettrolisi suggerisce dunque con tutta naturalezza l'ipotesi degli elettroni connessi agli atomi materiali. Questi possono liberarsene; ed è ciò che accade durante l'elettrolisi, quando i ioni si rendono visibili sugli elettrodi. Essi perdono allora le loro cariche elettriche, ossia si separano dagli elettroni, coi quali erano in certo modo combinati, mentre gli elettroni stessi entrano in circuito a formare la corrente.

Questa corrente, nell'ipotesi antica dei due fluidi elettrici, veniva considerata come un vero efflusso dei due fluidi in sensi opposti, mentre, secondo l'ipotesi unitaria, era considerata come l'efflusso in un senso determinato dall'unico fluido elettrico. Volendo conservare queste antiche ipotesi, gli elettroni non sarebbero che quantità determinate di fluido, che però perderebbero la loro individualità, nel momento in cui entrano nel conduttore metallico a formare la corrente, confondendosi nella massa complessiva del fluido in moto.

Ma poichè invece sembra naturale l'attribuire agli elettroni una esistenza indipendente, sorge l'idea, che essi non perdano l'individualità loro, e che perciò la corrente elettrica nei conduttori altro non sia che un movimento, entro la materia ponderabile, degli elettroni liberi, cioè disgiunti dagli atomi materiali. Anche adottando simile concetto si resta liberi di supporre, che la corrente elettrica si debba ad un moto di elettroni positivi in un senso insieme ad un moto di elettroni negativi

in senso contrario, oppure al semplice movimento in un senso determinato d'una delle due specie di elettroni; però è questa seconda supposizione che, a quanto pare, dovrà preferirsi.

Ecco adunque che l'antica teoria dell'elettricità è in certo modo richiamata in vita, quantunque profondamente modificata, in quanto che, invece di immaginare l'esistenza d'un fluido elettrico continuo, si ammette l'esistenza di piccole entità distinte, tutte eguali fra loro, che sono gli elettroni, la natura intima dei quali rimane tuttavia ancora indeterminata. Inoltre, non si attribuisce più a queste entità la proprietà di agire a distanza, proprietà la quale si riteneva dovesse possedere l'antico fluido elettrico, ma bensì quella di agire per mezzo dell'etere ambiente, precisamente come, secondo la teoria di Maxwell accennata nel § 8 e nel precedente, agiscono dei corpi elettrizzati qualunque.

L'ammettere l'esistenza delle cariche elettriche negli atomi può condurre d'altra parte a completare la teoria di Maxwell in modo tale, che divenga capace di render conto di quei fenomeni, che da essa non avevano ricevuto spiegazione. Anzi sin dal 1880 il fisico olandese Lorentz [1] fece vedere, che basta ammettere l'esistenza di cariche elettriche nelle molecole, e supporre che soltanto quelle d'un dato segno possano vibrare, allorchè il corpo è attraversato da un raggio di luce, per riuscire a spiegare colla teoria di Maxwell il fenomeno della dispersione, cioè il possedere raggi di diverso periodo vibratorio, e quindi di diverso colore, velocità di propagazione differenti. La presenza degli elettroni sarebbe anzi la causa generale, per cui si manifesta una influenza della materia ponderabile nei fenomeni

[1] La teoria degli elettroni o dei ioni elettrizzati ha preso sviluppo solo in questi ultimi anni, e può dirsi anzi che va ancora sviluppandosi per opera specialmente di Richarz, Ebert, Wiechert, Kaufman, Wien, Lenard, Des Coudres, Riecke, Drude, etc., in Germania, e di Larmor, J. J. Thomson e degli scolari di questo, in Inghilterra.

ottici ed elettrici, come per es. nel prodursi d'una speciale costante dielettrica pei diversi corpi.

In questi ultimi tempi l'importanza del concetto degli elettroni è andata rapidamente aumentando, stante la facilità con cui quel concetto ha guidato alla spiegazione di fatti svariati e ne ha fatto prevedere dei nuovi, quali uno notevolissimo, che poi un allievo del Lorentz è riuscito a realizzare sperimentalmente.

In una sorgente luminosa esistono elettroni che vibrano. Essi generano una perturbazione elettromagnetica nell'etere, la quale si propaga per onde; queste sono le onde luminose. Se la sorgente è gassosa (per es. un gas reso incandescente per riscaldamento), gli elettroni vibrano con indipendenza reciproca quasi completa, con un periodo loro proprio dipendente dalla natura chimica degli atomi presso i quali si trovano, o ai quali sono connessi.

Suppongasi che l'elettrone vibrante si trovi in un campo magnetico. La forza magnetica, la quale agisce sopra un elettrone in moto press'a poco come agirebbe su una corrente, ne modificherà il moto in una maniera, che può essere calcolata. Questo calcolo, considerando solo un caso particolare, e precisamente quello della luce emessa nella direzione della forza magnetica, conduce a questo risultato, e cioè che l'elettrone deve cessare di vibrare col periodo primitivo e assumere invece un tal moto, che equivale a due vibrazioni nuove, una un po' più rapida e l'altra un po' meno rapida della primitiva.

Se dunque si esamina lo spettro della luce prodotta, e cioè si guarda l'imagine allungata che si ottiene col prisma, e nella quale ogni luce di determinato periodo forma una riga trasversale distinta, si vedranno le due righe, che corrispondono alle due nuove vibrazioni, in posto dell'unica riga, che si osservava in assenza del campo magnetico. In altri termini si sdoppierà la riga dello spettro, nell'atto in cui si crea il campo magnetico.

Questo singolare fenomeno fu appunto verificato sperimentalmente dal Zeeman, il quale riconobbe pure, coi metodi che insegna l'ottica, la forma circolare e l'inverso senso di rotazione delle vibrazioni, cui si devono le due righe, e ciò in pieno accordo con quanto la teoria faceva prevedere. Anche nei casi meno semplici (astrazion fatta però da certe complicazioni che intervengono per alcuni gas luminosi), come quello della luce emessa in direzione perpendicolare alle linee di forza del campo magnetico, l'esperienza si mostrò in accordo completo colla predizione basata sulla teoria degli elettroni, fin anche nel caso più generale, studiato dall'Autore di queste pagine, della luce emessa in una direzione obliqua alla direzione del campo magnetico.

Questo fenomeno di Zeeman è inoltre di tal natura da lasciar decidere il segno di carica degli elettroni vibranti; e si riconosce, che questi devono supporsi carichi negativamente. Resta dunque così stabilito, che in un corpo luminoso sono gli elettroni negativi quelli che vibrano, mentre quelli positivi non sembra prendano parte al fenomeno luminoso.

Inoltre lo studio del fenomeno di Zeeman ha permesso una determinazione approssimata della massa materiale appartenente o connessa all'elettrone negativo. Ammesso che un elettrone del gas incandescente sia quella stessa carica, che nell'elettrolisi è connessa ad un ione (la quale carica, in seguito all'apprezzamento approssimato del numero effettivo di atomi contenuti in un corpo noto, è stata determinata), si è giunti alla conseguenza, che un elettrone si comporta come se possedesse una massa materiale, o fosse connesso ad una tale massa, eguale circa alla duemillesima parte della massa di un atomo d'idrogeno. Questo risultato coincide quanto all'ordine di grandezza (ed è tutto ciò che in queste quistioni si può pretendere) con quelli cui si arriva per altre vie, come per esempio studiando la propagazione della elettricità nei gas esposti all'azione dei raggi X, o i fenomeni di scarica, o in altre maniere. Questi vari metodi di

valutazione hanno dato infatti dal millesimo al quattromillesimo della massa dall' atomo dell' idrogeno, come massa di un elettrone negativo.

Da tempo si fu condotti a considerare le scariche elettriche nei gas come un fenomeno *convettivo*, cioè come dovuto a trasporto di elettricità effettuato da particelle elettrizzate in moto, e si giunse perfino ad assegnare la velocità di queste particelle e le linee da esse percorse; anzi, pei gas alla pressione ordinaria, l' Autore di queste pagine potè dimostrare, che le particelle elettrizzate si muovono sensibilmente secondo le linee di forza elettrica.

Tale dimostrazione sperimentale fu fatta dapprima pel caso delle scariche ordinarie dalle punte acute, poi pei casi della propagazione nei gas della elettricità proveniente o da corpi elettrizzati illuminati con certe qualità di luce, o da corpi elettrizzati roventi, e infine pel caso della propagazione dell'elettricità nei gas attraversati dai così detti raggi X.

Dapprima si suppose, come era ben naturale, che le particelle in moto fossero le molecole stesse del gas, elettrizzate per contatto a guisa di piccoli conduttori. Ora invece si rende conto d' ogni fenomeno supponendo che il trasporto delle cariche elettriche consista nel moto di ioni, o atomi elettrizzati, o nel movimento degli stessi elettroni, un certo numero dei quali, in causa degli incessanti loro scambi reciproci nelle molecole, è ad ogni istante libero, e può così obbedire all'azione del campo elettrico.

Se la elettricità è trasportata secondo le linee di forza, ciò si deve agli incontri frequenti dei ioni o degli elettroni fra loro e più ancora colle molecole; ma se il gas viene gradatamente rarefatto, gli urti divengono di più in più rari, sinchè, quando la rarefazione sia estrema, il moto degli elettroni, che restano allora soli a produrre il fenomeno, diviene affatto libero. L'Autore dimostrò appunto con apposite esperienze, nel caso della elettricità che si scarica da un metallo illuminato, che le linee

percorse dalle particelle elettrizzate si modificano grado a grado al progredire della rarefazione del gas, e mentre da principio tali linee non sono altro che le linee di forza, esse finiscono poi col divenire le linee normali alla superficie del conduttore, costituenti i così detti raggi catodici. Questi raggi catodici altro non sarebbero dunque che le linee percorse da elettroni emessi dal catodo.

Facendo agire sui raggi catodici delle forze elettriche o magnetiche, essi, come era da prevedersi, deviano. Tali deviazioni furono con cura misurate, specialmente nel caso in cui le due specie di forze agivano assieme, e con tali misure si giunse ad una nuova misura della massa degli elettroni. Il risultato numerico così ottenuto si accorda bene con quello cui conduce il fenomeno di Zeeman, ed è indipendente dalla natura del gas rarefatto contenuto nel tubo ove si producono i raggi catodici. E così infatti doveva essere, se questi realmente constano di elettroni liberi; che se invece i raggi catodici fossero costituiti da atomi materiali elettrizzati, la massa di questi, come nella elettrolisi, dovrebbe essere diversa pei diversi gas a parità di elettricità trasportata.

E ormai da ritenersi che l'elettricità non possa propagarsi in un gas se non in grazia della presenza di elettroni. Così, se si osserva una più o meno lenta dispersione della carica d'un corpo elettrizzato, ciò si deve alla presenza nell'aria di ioni in piccola o grande quantità. Essi possono provenire dalle molecole stesse del gas, da cui si separano spontaneamente, o per effetto dell'urto di ioni già liberi; ma è indubitato che per certe azioni speciali, come l'arroventamento d'un solido, la combustione, le scintille, l'azione delle radiazioni (raggi luminosi, raggi di Röntgen, raggi di Becquerel, ecc.), si ha una più o meno abbondante formazione di ioni. Efficacissimi alla produzione dei ioni in un gas sono i raggi X. Ammessa la presenza dei ioni, tutti i fenomeni delle scariche ven-

gono spiegati in modo semplice e chiaro, fin'anche la produzione degli stessi raggi X, i quali altro non sarebbero se non la manifestazione di onde elettromagnetiche, simili alle onde di esplosione nell'aria, prodotte nell'etere dall'improvvisa fermata contro qualche ostacolo di ciascuno degli elettroni costituenti l'emissione catodica. Per quanto sia piccola la massa di questi, l'effetto risultante dall'urto loro può essere relativamente considerevole, in causa della grande loro velocità. Si è trovato infatti che tale velocità può arrivare ad essere quasi la metà (e in qualche caso forse più) di quella della luce.

È oltremodo rimarchevole la differenza di comportamento per ioni positivi e negativi, additata dal fenomeno di Zeeman, la quale corrisponde assai bene alle innumerevoli differenze sperimentalmente da tempo constatate fra i fenomeni ottenuti con cariche positive o con cariche negative. Gli studi più recenti fatti sulle scariche hanno vieppiù accentuata quella differenza, e dal loro complesso si è desunto, che mentre i ioni negativi possono essere elettroni liberi, e cioè si comportano come la piccolissima loro massa può far prevedere, i ioni positivi hanno comportamento tale, quale può imaginarsi, qualora la massa di essi sia migliaia di volte quella dei negativi. Ciò conduce a supporre, che i ioni positivi siano atomi materiali, tanto più che essi mostrano avere masse di grandezze diverse a seconda della natura del corpo dal quale provengono. Questa massa, tanto differente e tanto maggiore di quella degli elettroni, che ai ioni positivi appartiene, fa riscontro alla dimostrata non partecipazione di essi nella emissione luminosa.

Oltre ai fenomeni qui considerati, cioè elettrolisi, scariche elettriche nei gas, ecc., si potrebbero ora passare in rassegna gli altri fenomeni elettrici, e far vedere come la teoria degli elettroni si presti a darne soddisfacente spiegazione. Così, ad esempio, i fenomeni elettrici presentati dai metalli vengono spiegati in base alle seguenti considerazioni.

Entro una massa metallica esisteranno elettroni negativi connessi agli atomi, e altri vaganti negli spazi interatomici, i quali momentaneamente hanno abbandonato gli atomi ai quali erano connessi. Durante il loro moto, che si può imaginare simile a quello delle molecole d' un gas, accadrà bensì, che alcuni elettroni si fissino su atomi che ne sono privi, mentre altri si separano dagli atomi ai quali sono congiunti, ma si avrà per via di compensazione uno stato di cose stazionario. Se una forza elettrica agisce, gli elettroni negativi si muoveranno, costituendo una corrente elettrica. Ma anche senza di ciò essi si muoveranno incessantemente da luogo a luogo come le molecole di un gas, trasportando l'energia da atomo ad atomo. Ad essi si dovrà dunque la conducibilità calorifica oltre che quella elettrica. Partendo da concetti simili si arriva a render conto di un gran numero di fenomeni noti, come la proporzionalità fra conducibilità calorifica ed elettrica, le proprietà ottiche dei metalli, ecc. Il sottrarre ad un conduttore degli elettroni (negativi) equivarrà ad elettrizzarlo positivamente; l' aggiungerne equivarrà al caricarlo negativamente. Le radiazioni, specialmente le ultravioletta, promuovono la sfuggita degli elettroni, i quali d'altronde sfuggono continuamente da certi corpi detti radioattivi (uranio e i suoi sali, radio, ecc.) dando origine così a quei raggi di Becquerel, che hanno tanta analogia coi raggi catodici.

Senza continuare in questa rassegna, quanto si è detto basta a mostrare, come l' ipotesi della costituzione atomica dell'elettricità sia promettente, e possa riuscire forse di valido aiuto per progredire nella via, che deve condurre alla conoscenza intima dei fenomeni elettrici. Potrebbe invero dirsi di essere giunti a buon punto, qualora effettivamente null'altro rimanesse d'indeterminato che la natura degli elettroni.

Questa è ora oggetto di ipotesi svariate. Poichè gli elettroni sono dotati di massa, essi, secondo alcuni, devono con-

siderarsi come atomi di una sostanza speciale distinta dalla materia, ed è in questo senso, che la teoria degli elettroni appare un ritorno parziale alle ipotesi antiche. La sovrabbondanza di atomi di questa sostanza speciale, distinta dalla materia, costituirebbe ciò che si chiama elettricità negativa, mentre lo stato elettrico positivo consisterebbe nella deficienza degli atomi di elettricità. Quindi un elettrone positivo altro non sarebbe che un vero atomo materiale privato dell'elettrone negativo. Non sembra dunque necessario ammettere, come fanno alcuni, l'esistenza di due specie di elettroni, i negativi ed i positivi, per render conto dei fenomeni. Neppure è necessario ammettere che gli elettroni posseggano una vera inerzia. Ed invero, siccome una carica elettrica in moto possiede, solo perchè si muove, una certa energia elettromagnetica, così vi ha chi pensa che la massa degli elettroni sia semplicemente apparente. E si va anche più oltre, supponendo che gli atomi della materia ponderabile risultino dalla riunione di tanti elettroni, per cui anche la massa dei corpi sarebbe un'apparenza. Si vengono così ad invertire i termini del poderoso problema, di trovare una spiegazione meccanica dei fenomeni elettrici, poichè si tende invece, dopo avere ammessa l'esistenza degli elettroni come elementi primordiali, a spiegare per mezzo di essi i fenomeni meccanici.

D'altra parte vi è chi suppone essere un elettrone una determinata porzione di etere condensato o diradato o altrimenti modificato. Quando esso muta luogo, si può imaginare che le stesse parti costituenti l'elettrone si spostino effettivamente, oppure si può supporre, che ciò che si sposta sia semplicemente la condizione locale dell'etere stesso, press'a poco come nella propagazione di un'onda sull'acqua è la forma della superficie che muta luogo, e non l'acqua stessa che si sposta.

Ma se è facile, non è meno inutile esercitare la fantasia in

questo campo inesplorato, e che forse rimarrà per molto tempo se non eternamente inaccessibile.

Convien dunque scendere nuovamente nel campo dei fatti e della loro interpretazione immediata, per fare un più minuto studio dei fenomeni elettrici oscillatorii, che sono quelli, che più direttamente corrispondono allo scopo di questo libro.

A. Righi.

PARTE SECONDA

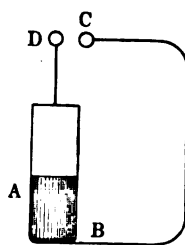
LE ONDE ELETTROMAGNETICHE

CAPITOLO I.

Le oscillazioni elettriche (1).

25. **Scariche continue ed oscillanti.** — Quando due conduttori a differente potenziale vengono messi in comunicazione, per esempio mediante un filo metallico, dopo un tempo più o meno breve i due conduttori trovansi portati ad un medesimo potenziale. Se uno dei conduttori è la terra, il cui potenziale può considerarsi come costante e che si assume come zero, l'altro conduttore si riduce al potenziale zero esso pure e, se non vi sono in vicinanza corpi elettrizzati, esso rimane affatto scarico. In tal caso la comunicazione col suolo ha per risultato la *scarica* del conduttore. Del pari, se i due conduttori messi in comunicazione sono le armature d'un condensatore, si ottiene la *scarica* del condensatore, restando annullate le opposte cariche, che risiedevano nelle faccie prospicienti delle due armature.

Fig. 25.

Mentre dura il fenomeno della scarica, il filo è sede d'una corrente elettrica variabile, e in generale non soltanto il filo, ma anche i gas caldi costituenti la scintilla, che scocca, quando l'estremità C (fig. 25) del filo BC comunicante coll'arma-

(1) I numeri fra parentesi, che trovansi inseriti nel testo, richiamano le citazioni raccolte alla fine di ciascun capitolo.

tura esterna A del condensatore giunge a piccola distanza dalla armatura interna D. È solo quando la conducibilità del filo è piccolissima (per esempio con un filo di cotone appena umido) che si può giungere facilmente a far sì, che il contatto fra C e D avvenga prima che la scarica sia compiuta. La corrente di scarica varia allora abbastanza lentamente d'intensità, perchè essa presenti i caratteri dello stato permanente durante buona parte della sua durata.

Ma generalmente la scarica ha luogo prima che siasi stabilita una comunicazione metallica fra le armature. D'ordinario la scarica così ottenuta non è completa, dato che, non appena scocca la scintilla, si cessi di avvicinare C a D. Se infatti, una volta prodottasi la scintilla, la scarica prosegue, gli è soltanto perchè onde continui non è più necessaria la differenza di potenziale fra le armature che esisteva dapprincipio; perciò la scarica può continuare sinchè quella differenza di potenziale siasi ridotta assai minore. Cessata la scintilla, basta diminuire sufficientemente la distanza esplosiva CD, perchè si produca una seconda scintilla, poi una terza anche più corta, e così di seguito.

Se la resistenza del filo è relativamente grande, la corrente di scarica durante ogni scintilla ha una intensità crescente dapprima da zero sino ad un massimo, e poi diminuente fino a zero. Una scarica di tal genere prende il nome di scarica *continua*. La differenza di potenziale fra le armature scema gradatamente, ma non uniformemente, dal valore iniziale sino a zero. Può darsi anche, e particolarmente quando il circuito di scarica ha resistenza assai grande, che al cessare della scarica continua si ricarichino le armature nel senso primitivo, verosimilmente in causa del fenomeno chiamato delle *cariche residuali*, e si produca una seconda scarica, poi altre di più in più deboli. Nel loro complesso esse costituiscono la scarica *intermittente*.

Ma quando la resistenza del circuito è piccola, relativamente alla sua autoinduzione, la scarica cambia natura e diviene

oscillante. Si può dire che tale scarica consiste in una corrente alternativa di breve durata lungo il circuito di scarica.

La possibilità di scariche di queste specie fu intuita fino dal 1842 dal fisico americano Henry [1]. In seguito a certe apparenti anomalie riscontrate calamitando colla scarica della bottiglia di Leida degli aghi di acciaio, egli fu condotto a dubitare che, dopo un primo passaggio di elettricità (ragionando dal punto di vista della teoria unitaria di Franklin) da una armatura all'altra, avvenisse, come per una specie di riflessione, un passaggio in senso contrario, poi un altro nel senso primitivo ecc., ognuno più debole del precedente. Dal canto suo Helmholtz nel 1847 [2] ebbe ad esprimere una analoga idea: ma fu William Thomson [3] che, otto anni più tardi, previde le modalità del fenomeno, in base alla induzione che la scarica doveva produrre sul proprio circuito. Egli trovò che la scarica deve essere o continua od oscillante, secondo che il quadrato della resistenza del circuito è maggiore o minore di quattro volte il rapporto fra l'autoinduzione del circuito stesso e la capacità del condensatore.

Per ben comprendere in che consista una scarica oscillante consideriamo ciò che accade a partire dal momento in cui essa comincia.

Dell'elettricità passa da un'armatura all'altra, e la differenza di potenziale fra di esse diminuisce fino a zero. Ma a questo punto il fenomeno della scarica non cessa; la corrente nel circuito continua ancora colla stessa direzione ricaricando le armature con segni di carica inversi, sinchè i loro potenziali, ora di segno invertito, giungano a valori poco inferiori ai primitivi. A questo punto la corrente è nulla, ma ben tosto risorge con direzione opposta, producendo un nuovo annullamento della differenza di potenziale seguito dalla formazione di potenziali dello stesso segno di quelli esistenti all'inizio del fenomeno. Nell'istante in cui questa corrente di scarica, che è inversa rispetto alla corrente dei primi istanti, diviene nulla, si è com-

piuto ciò che si chiama *una oscillazione*. Il condensatore si trova nelle condizioni iniziali, salvo che le sue cariche sono un poco minori. Si produrrà dunque una seconda oscillazione, dopo la quale il condensatore rimarrà con carica ancora più piccola, e così di seguito per un numero più o meno grande di volte.

Si comprende come l'autoinduzione sia la precipua causa di questa serie di fenomeni riflettendo, che ad essa si deve, se le correnti simulano una specie di inerzia. Ed invero l'analogia fra la scarica oscillante ed il moto d'una massa materiale sospesa, è assai intima.

Le successive oscillazioni d'un pendolo presentano una ampiezza decrescente in causa della resistenza dell'aria e dell'imperfetta elasticità del filo di sospensione, di modo che l'energia del pendolo poco a poco si trasforma in calore. Se per analogia chiameremo *ampiezza* delle oscillazioni nella scarica il valore massimo della differenza di potenziale, che esiste negli istanti in cui si annulla la corrente di scarica, si potrà dire, che l'ampiezza delle oscillazioni elettriche va via via diminuendo, finchè l'energia di carica del condensatore siasi trasformata in calore. La diminuzione d'ampiezza nel caso del pendolo (ossia lo *smorzamento* delle oscillazioni) è tanto più rapida, quanto maggiori sono le resistenze incontrate dal pendolo; del pari lo *smorzamento* della oscillazioni d'un condensatore è tanto maggiore, quanto più grande è la resistenza del circuito di scarica.

Ad onta della progressiva loro diminuzione d'ampiezza, la durata delle piccole oscillazioni pendolari è costante, o in altre parole le oscillazioni sono isocrone. Altrettanto può dirsi delle oscillazioni elettriche, per le quali si verifica, che gli intervalli di tempo che trascorrono fra due massimi (o fra due minimi) successivi di potenziale sono sensibilmente costanti.

Dalla teoria delle scariche oscillanti si desume, che la intensità della corrente di scarica varia essa pure colla legge delle oscillazioni pendolari; ma i massimi d'intensità della corrente

corrispondono ai valori nulli dei potenziali. La teoria fa conoscere altresì quale sia la durata d'ogni singola oscillazione. Tale durata è espressa dalla stessa nota formola che dà la durata d'oscillazione d'un pendolo, qualora alla lunghezza di questo si sostituisca l'autoinduzione del circuito di scarica, ed alla gravità si sostituisca l'inversa della capacità del condensatore.

È noto che le vibrazioni sonore semplici si compiono colla stessa legge di movimento del pendolo. Perciò le oscillazioni elettriche, come presentano tante analogie colle oscillazioni pendolari, altrettante ne mostrano colle oscillazioni sonore. E la semplicissima costruzione grafica, che serve tanto bene per istudiare le vibrazioni sonore, può riescire utilissima per chiarire nel miglior modo anche il fenomeno della scarica oscillante.

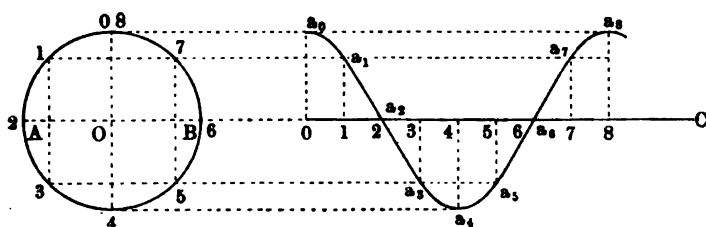



Fig. 26.

Si divida una circonferenza in un certo numero di parti eguali, per esempio otto (fig. 26) e si segnino coi successivi numeri i punti di divisione; poi si portino otto intervalli eguali, numerati essi pure, sopra il prolungamento BC di un diametro AB della stessa circonferenza. Ciò fatto, si prendano, su tante perpendicolari elevate nei punti di divisione di BC, delle lunghezze eguali alle perpendicolari abbassate su AB dai successivi corrispondenti punti di divisione della circonferenza, ciò che le rette parallele ad AC tracciate a piccoli tratti nella figura permettono di fare assai facilmente. Si otterranno così i punti a_0 a_1 .... etc., che si riuniranno con una linea continua. Quanto maggiore sarà il numero delle divisioni, per esempio 16 o 24

invece di 8, e tanto più agevole cosa sarà il tracciare la curva, la quale poi tanto meno differirà da quella, che i geometri chiamano *sinusoide*. Questa curva è però illimitata, cioè si dovrà supporre, che essa si prolunghi tanto verso sinistra che verso destra, serpeggiando intorno alla retta AC indefinitamente prolungata; e per tracciarne una maggior porzione basterà riportare di seguito gli uni agli altri tanti tratti identici ad a_0 a_8.

La sinusoide offre un mezzo semplicissimo per far comprendere in che consista una oscillazione pendolare. Supponiamo che la durata della completa oscillazione di un pendolo venga divisa in otto eguali intervalli di tempo, e che l'ampiezza della oscillazione, cioè la massima distanza a cui si porta la massa sospesa costituente il pendolo dalla sua posizione d'equilibrio (nella quale il filo di sospensione sarebbe verticale) sia eguale al raggio OA. Allora la perpendicolare $0a_0$ sarà la distanza dalla posizione di equilibrio della massa oscillante al principiare dell'oscillazione, $1a_1$ sarà la detta distanza dopo un intervallo di tempo eguale ad $^1/_8$ della durata (o periodo) di oscillazione, $2a_2$ (ossia zero) sarà la detta distanza dopo $^2/_8$ di periodo, $3a_3$ quella dopo $^3/_8$ e così di seguito. Come si vede, dopo $^2/_8$ di periodo il pendolo passa al di là della posizione d'equilibrio, e vi resta sino a che siano trascorsi $^6/_8$ di periodo. A questo istante esso è di nuovo verticale, e poi in altri due ottavi di periodo raggiunge il punto di partenza.

Tutto ciò si vuol esprimere in modo assai conciso. Le distanze 01, 02,... prese sull'asse AC diconsi *ascisse* della curva, ed il punto 0 *origine* delle ascisse, mentre le perpendicolari $0a_0$ $1a_1$... diconsi *ordinate* della curva stessa. Si potrà dunque dire che, se si prende il tempo come ascissa e la distanza del pendolo dalla posizione d'equilibrio come ordinata, si ottiene una sinusoide; ed una volta che la forma di questa curva, ed il modo di tracciarla si sieno ben stampati nella mente, si ha subito una imagine completa del moto oscillatorio del pendolo.

Analogamente, ognuno che conosca la sinusoide impara con poche parole in che consista una vibrazione sonora, quando gli si dica, che la distanza di un punto del corpo che vibra dalla sua posizione di equilibrio muta coll'andare del tempo precisamente come le ordinate di una sinusoide, di cui il tempo sia l'ascissa.

L'utilità della rappresentazione grafica d'un fenomeno è notoriamente grandissima e del resto abbastanza conosciuta dalla generalità, poichè si vede spesso rappresentato con curve per esempio l'andamento della temperatura nel corso della giornata, o quello della pressione barometrica, etc.; la sinusoide dà appunto la rappresentazione grafica delle oscillazioni d'un pendolo; però d'un pendolo ideale, al moto del quale non si oppone nessuna resistenza, che faccia scemare l'ampiezza delle successive oscillazioni. Nella realtà questa ampiezza va ognora diminuendo, sì che una curva come quella della fig. 27, nella quale si è introdotta una graduale riduzione delle ordinate, rappresenterebbe più fedelmente l'oscillazione pendolare.

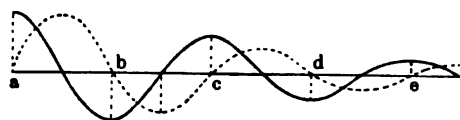



Fig. 27.

Orbene, basterà imaginare che le ordinate della curva della fig. 27 rappresentino la differenza di potenziale fra le armature del condensatore, per avere una idea esatta del modo nel quale varia questa differenza durante la carica oscillante. Gli intervalli uguali *ab*, *bc*, *cd*,.... saranno eguali alla metà della durata d'ogni oscillazione. Inoltre, una analoga curva potrà rappresentare le intensità della corrente nel circuito di scarica. E siccome la corrente è nulla quando la differenza di potenziale è massima, e viceversa, ne viene, che la nuova curva (segnata a tratti nella fig. 27) è disposta rispetto alla curva del potenziale, come appunto mostra la figura.

Le previsioni teoriche di Thomson ebbero una prima conferma sperimentale nel 1857 per opera del Feddersen (4), e poi altre

posteriori. Ecco in breve una delle maniere, nelle quali si può imaginare condotta una di queste delicate esperienze, nelle quali i caratteri della scarica sono desunti dagli aspetti successivi presentati dalla scintilla di scarica durante la sua breve esistenza.

Si supponga che questa scintilla si formi fra due palline o fili metallici posti l'uno di fronte all'altro, in modo che la scintilla riesca rettilinea ed orizzontale, e si proietti una imagine ottica di essa sopra una lastra sensibile per mezzo, ad esempio, d'un obbiettivo fotografico. Si otterrà così una fotografia della scintilla, ad onta della sua brevissima durata, stante la grande abbondanza di radiazioni fotograficamente attive che essa emette; occorrerà fors'anche, per poco che si faccia uso di notevoli capacità, applicare un diaframma a piccolo foro contro l'obbiettivo, onde evitare la così detta solarizzazione dell'imagine.

Si supponga ora che la lastra sensibile, anzichè essere come d'ordinario fissa, venga animata da un rapido moto uniforme in direzione verticale. Accadrà naturalmente, che l'immagine della scintilla diverrà più larga, e tanto di più quanto maggiore è la durata di essa, tanto che, nota che sia la velocità con cui si muove la lastra sensibile, dall'allargamento in senso verticale subito dall'immagine si potrà desumere la durata della scarica.

Ma questo non è il solo scopo di simili esperienze. Anzichè misurare l'allargamento dell'imagine della scintilla conviene esaminarla con attenzione, ed ecco quanto risulta da un tale esame.

Allorquando la resistenza del circuito è grande relativamente all'autoinduzione del medesimo, l'imagine della scintilla presenta come una sfumatura, e se ne arguisce che dal principio alla fine di essa la luce emessa va gradatamente impallidendo sino ad estinguersi. Questo è il caso della scarica continua.

Se si aumenta moltissimo la resistenza può accadere, che l'imagine della scintilla si divida in più parti, ognuna delle

quali presenta l'aspetto descritto. In tal caso la scarica consiste in una serie di scariche parziali continue, ossia si ha la scarica intermittente, che può considerarsi dunque come della stessa natura della scarica continua.

Si supponga ora invece che la resistenza del circuito di scarica sia piccola relativamente all'autoinduzione. L'imagine dilatata della scintilla presenta allora un aspetto alquanto diverso. Infatti, la striscia dilatata si presenta ancora come divisa in più parti, ma queste sono di larghezze sensibilmente eguali, ciò che non era nel caso della scarica intermittente. Di più queste parti non sono in generale separate nettamente l'una dall'altra, e spesso anzi si può considerare l'imagine dilatata come continua, ma con intensità variabile con un certo periodo. Infine ciascuno degli eguali intervalli, di cui consta l'imagine, presenta presso i suoi limiti corrispondenti alle estremità della scintilla aspetti differenti, disposti in modo alterno negli intervalli successivi. Così se *a* (fig. 28) è la scintilla, o se si vuole l'imagine di essa ottenuta su una lastra immobile, l'imagine dilatata *bc* ottenuta sulla lastra in movimento si compone di tante parti 1, 2, 3... presentanti per esempio quelle di rango dispari 1, 3, 5.... una maggior intensità a sinistra e quelle di rango pari 2, 4.... una maggior intensità a destra. Ora è noto che, specialmente con elettrodi formati con zinco o cadmio, la scintilla presenta luminosità differenti alle sue due estremità. Perciò l'aspetto della imagine ottenuta su lastra in moto conferma, che durante la scarica la scintilla presenta alternativamente, e con costante periodo, ora all'estremità di destra ora a quella di sinistra, l'aspetto caratteristico dell'elettrodo positivo o di quello negativo. Le misure fatte sull'imagine fotografica permetteranno poi di calcolare il periodo

Fig. 28

di oscillazione, qualora sia nota la velocità della lastra, e di studiare quindi come questo periodo varia, al variare delle condizioni sperimentali.

In realtà non sempre l'esperienza fu fatta nel modo descritto. Si comprende del resto facilmente, che non varierà sostanzialmente l'esperienza stessa, se la lastra sensibile sarà ani-

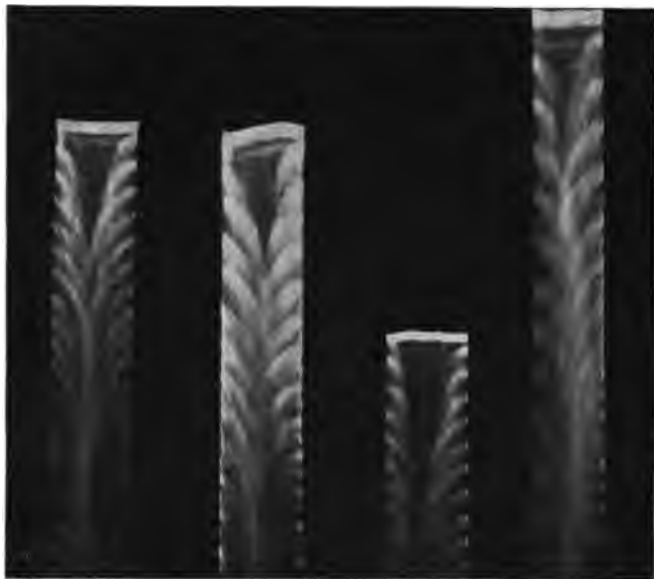



Fig. 29.

mata da un moto rotatorio anzichè da un moto di traslazione, o se essa resterà immobile, mentre si sposterà in sua vece l'obbiettivo, oppure se a questo si sostituirà uno specchio concavo, il quale, si sa, può dare imagini simili a quelle delle lenti,

La figura 29 mostra alcune imagini dilatate di scintille oscillanti (1) prodotte fra elettrodi di cadmio.

(1) Le negative furono ottenute dal prof. Battelli di Pisa, che gentilmente le mise a disposizione dell'Autore.

26. Le oscillazioni elettriche nei conduttori. — Non è soltanto colla scarica di un condensatore, che si ottiene il fenomeno delle oscillazioni elettriche. Esso può prodursi con disposizioni sperimentali svariate, per esempio in un unico conduttore, o in un sistema di conduttori o di condensatori variamente disposti. È utile darne in questo paragrafo alcuni esempi.

La disposizione considerata nel § precedente comprende un condensatore A (fig. 25), un filo di scarica BC, e la scintilla CD fra l'estremità del circuito e l'armatura interna. Se all'unico condensatore si sostituisce un sistema di due altri AA′ (fig. 30) disposti in serie, in modo cioè che le armature esterne comunichino insieme e le interne ricevano potenziali uguali e di

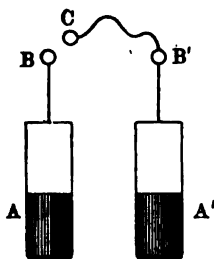



Fig. 30.

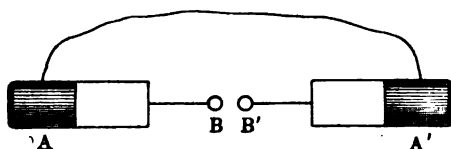



Fig. 31.

opposto segno, la disposizione sperimentale sarà più simmetrica della precedente, senza differirne sostanzialmente. Se poi si sopprime il filo B′C, si avrà la disposizione della fig. 31. Si supponga ora che il vetro dei due condensatori sia sostituito da uno strato d'aria, e che lo spessore di questo vada via via aumentando. Le armature esterne finiranno coll'essere lontanissime dalle armature interne, tanto che l'azione loro diverrà trascurabile, e rimarrà il sistema di due conduttori AC, BD (fig. 32) carichi a potenziali di segno contrario, e congiunti dalla scintilla CB al momento della scarica.

A C B D

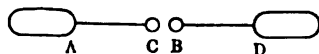



Fig. 32.

In tutti i casi, quando sia soddisfatta la condizione voluta, relativa alla grandezza della resistenza, dell'autoinduzione e

della capacità, si avrà una scarica oscillante. Infine si può imaginare soppressa la scintilla, e riuniti i due conduttori in modo da formare una sola asta rettilinea come AB (fig. 33), oppure piegata in qualsiasi forma come CD, ed allora le oscillazioni elettriche avranno sede in un unico conduttore. Se non che in questo caso, mancando la separazione di esso in due porzioni distinte, che possano essere portate da principio a potenziali differenti, occorrerà ricorrere ad altri mezzi per ottenere la produzione delle oscillazioni elettriche. Studieremo più oltre, sotto le denominazioni di *oscillatori* e di *risonatori*, dei sistemi conduttori del genere di quelli delle fig. 32 e 33, e vedremo come in essi possano generarsi le oscillazioni elettriche.

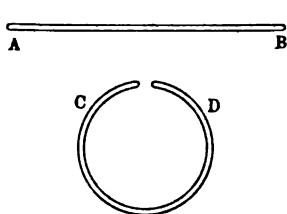



Fig. 33.

Che la scarica elettrica possa essere di natura oscillatoria non risulta solo dallo studio della scintilla; certe esperienze sulla scarica dei condensatori, o di conduttori ad essi riuniti, ne porgono una dimostrazione indiretta. Giova citare a questo proposito qualcuna delle esperienze del fisico inglese O. Lodge [5].

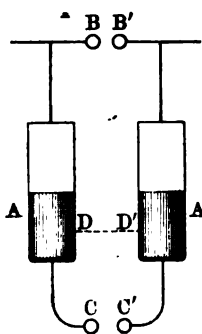



Fig. 34.

Si supponga che la comunicazione fra le armature esterne dei due condensatori A, A′ della fig. 30 venga interrotta, in modo che fra le due metà rimanga un intervallo d'aria CC′ (fig. 34), e sia collocata fra le armature stesse una comunicazione di grandissima resistenza DD′, senza della quale non potrebbero formarsi nelle armature esterne di A ed A′ le cariche d'influenza, mentre si caricano le armature interne a potenziali eguali e di segno contrario per mezzo di una macchina elettrica. Praticamente la comunicazione DD′ può essere costituita dal legno del tavolo su cui le due boccie di Leida A, A′ sono appoggiate. Una tale

comunicazione è sufficiente a quello scopo, mentre è come non esistesse pel passaggio d'una scarica improvvisa.

Quando si fa scoccare la scintilla BB′, si forma in pari tempo la scintilla CC′, se questo intervallo non è soverchiamente grande; ma ciò che va notato si è, che la scintilla CC′ può essere notevolmente più lunga della BB′.

Il prodursi della scarica oscillante rende conto di questo fenomeno. Infatti, il potenziale delle armature esterne è zero per simmetria; ma dopo una mezza oscillazione della scarica i potenziali delle armature interne sono invertiti, e non solo le cariche, che per influenza esistevano nelle armature esterne non sono più trattenute, ma se ne formano in contatto del vetro altre di segni opposti, ciò che ha per effetto di portare le armature stesse a potenziali se non doppi, almeno assai maggiori, di quelli originariamente posseduti dalle armature interne. Di qui la maggior lunghezza della scintilla CC′.

Se un lungo filo è posto con una delle sue estremità in contatto d'una delle armature di un condensatore, durante la scarica quella estremità si troverà sempre al potenziale dell'armatura, e se veramente la scarica è oscillante, anche quel potenziale oscillerà fra valori positivi e negativi. Ma il potenziale nelle parti del filo più lontane non potrà variare che con un certo ritardo, richiedendosi un tempo finito alla propagazione dello stato elettrico. Quando, per esempio, l'estremità libera del filo avrà raggiunto il massimo positivo di potenziale, potrà darsi (se la lunghezza del filo ha un opportuno valore che si vedrà essere una *mezza lunghezza d'onda)* che l'armatura si trovi ad avere il massimo potenziale negativo, e viceversa. Si avrà dunque una oscillazione lungo il filo, che è messa in evidenza colla seguente disposizione sperimentale.

Dalle armature A e B (fig. 35) d'un condensatore partono due lunghi fili metallici A*a*, B*b*. Nell'istante in cui avviene in C la scarica del condensatore, divengono luminose nell'oscurità le

ultime porzioni dei due fili presso *a* e *b*; e se l'intervallo che separa queste estremità non è troppo grande, scocca fra esse una scintilla, la cui lunghezza può essere assai maggiore della C.

La disposizione della fig. 36, nella quale si hanno due condensatori in serie, è equivalente alla precedente, ma è più simmetrica. Nell'istante in cui scocca in C la scintilla di scarica, si può ottenere un'altra scintilla fra due punti E, E′ dei lunghi fili, e questa scintilla, la cui lunghezza suol essere maggiore di quella della C, è tanto più lunga, quanto più vicini alle estremità D e D′ si scelgono i punti E ed E′. Anche qui i fili devono avere una conveniente lunghezza in relazione colla capacità dei condensatori adoperati.

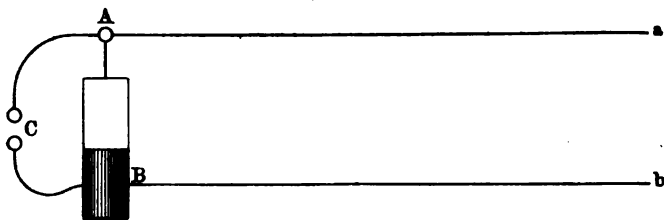
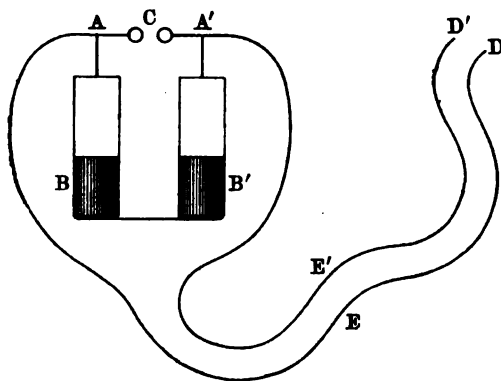



Fig. 35.

Fig. 36.

Anche certe particolarità, osservate allorquando avviene la scarica attraverso il vetro di un condensatore, ricevono la loro spiegazione naturale dall'oscillazione di scarica. Accade spesso che, nell'istante in cui si provoca la scarica di un condensatore attraverso un conduttore qualunque, si fori il vetro fra le armature. Può darsi anzi che il condensatore sia

stato caricato fortemente senza danno, e poi si rompa nell'atto della scarica, anche se prima di scaricarlo si è lasciata disperdere lentamente buona parte della sua carica. Bisogna dunque credere che, durante la scarica, possa esistere momentaneamente una differenza di potenziale fra le armature maggiore di quella esistente prima della scarica stessa; e siccome il fenomeno del traforamento accade particolarmente quando lunghi conduttori sono annessi alle armature, così si comprende, che la causa di esso va cercata nelle oscillazioni elettriche destate nei fili dalle oscillazioni della scarica.

Se la distanza fra l'una e l'altra armatura del condensatore, misurata lungo la parte nuda del vetro, non è troppo grande, il condensatore difficilmente è traforato: ma al momento della scarica veggonsi, specialmente nell'oscurità, delle pallide scintille all'orlo delle armature lungo la superficie del vetro. È naturalmente più comodo e più economico valersi nelle esperienze di questa osservazione, piuttosto che della rottura del condensatore. Si possono poi favorire queste scariche lungo il vetro e localizzarle, diminuendo, mercè un prolungamento delle armature, la distanza lungo il vetro in una parte del loro contorno. Per esempio, una striscia di stagnola è applicata internamente al vetro, colla sua estremità *a* (fig. 37) in contatto coll'armatura interna, ripiegata in *b* sull'orlo del vaso ed applicata contro la superficie esterna del vetro. Fra l'estremità *c* della striscia e l'orlo dell'armatura esterna si osserveranno le scintille menzionate più sopra.

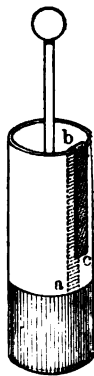



Fig. 37.

Con questa disposizione basta scaricare il condensatore, non già con un corto arco metallico, ma coll'intervento di lunghi fili, per vedere all'istante della scarica le scintillette lungo il vetro indicanti la momentanea produzione d'una differenza di potenziale superiore a quella iniziale. Il Lodge paragona felicemente questo fenomeno, a quello dell'oscillazione d'un liquido

in un lungo tubo, la quale lo fa facilmente traboccare dall'orlo del tubo stesso, e chiama perciò fenomeno di *trabocco* (*overflow*) la scarica lungo il vetro. Che poi realmente sul trabocco influiscano le oscillazioni nei lunghi conduttori adoperati per la scarica, risulta chiaramente dall'esperienza seguente.

AB ed A'B' (fig. 38) sono due condensatori uguali le cui armature interne sono riunite da un lungo filo metallico AA', e

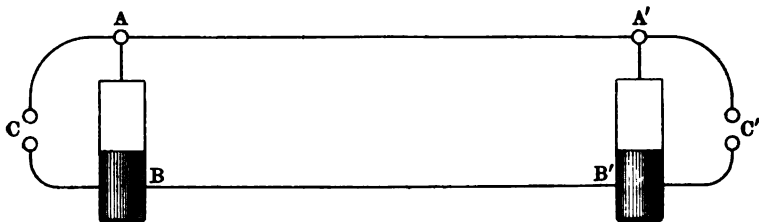



Fig. 38.

le esterne da un altro BB'. Il sistema si può scaricare o in C, fra due brevi conduttori riuniti alle armature A e B, oppure in C' fra i conduttori brevi uniti alle armature A' e B', e basta rendere uno degli intervalli C, C' un po' minore dell'altro, perchè nel primo si formi la scintilla di scarica.

Orbene, se la scarica avviene in C il condensatore AB non mostra nessun fenomeno speciale, mentre all'orlo delle armature di A'B' si ha il *trabocco*. Se invece si fa sì che la scintilla scocchi in C', vedesi il trabocco nel condensatore AB.

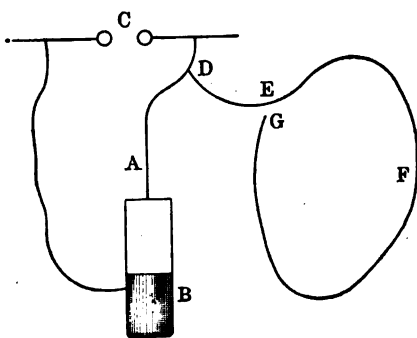



Fig. 39.

Nelle esperienze fatte colla disposizione della fig. 35 o della 36, la scintilla accessoria scocca fra fili comunicanti rispettivamente colle due armature oppostamente elettrizzate; ma si può avere anche una

scintilla fra punti diversi d'un unico filo, di cui solo una estremità tocca il circuito di scarica.

Basta perciò disporre un lungo filo di rame DEFG (fig. 39) in modo, che mentre uno dei suoi estremi D tocca il circuito di scarica d'un condensatore AB, l'altra estremità G isolata giunga a piccola distanza da un punto E del filo prossimo a D. All'istante della scarica provocata dalla scintilla C, si vede una scintilla anche fra G ed E, la quale può arrivare ad avere all'incirca la lunghezza della C.

La produzione della scintilla GE ha luogo allorchè, durante le oscillazioni elettriche propagantesi da D a G lungo il filo, i potenziali in E e G trovansi momentaneamente abbastanza differenti, relativamente alla grandezza dell'intervallo GE. L'esperienza si può semplificare sopprimendo il condensatore, come nella fig. 40, nella quale A e B sono due aste conduttrici oppostamente cariche, le quali possono essere semplicemente i due conduttori principali della macchina elettrica. Uno di essi B è tenuto in comunicazione col suolo, mentre all'altro A si connette il filo EFG. Ogni scintilla fra A e B è accompagnata da una fra E e G, dato che quest'ultima distanza esplosiva non sia troppo grande relativamente a quella fra A e B. Qui le oscillazioni elettriche hanno luogo nel sistema dei due conduttori A e B, i quali sono disposti precisamente come quelli della fig. 32.

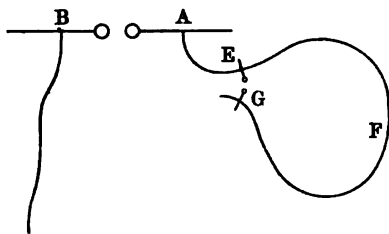



Fig. 40.

L'ultima esperienza descritta è in sostanza identica a quella eseguita circa nell'epoca stessa dal Hertz (6), la quale fu il punto di partenza verso le sue memorabili esperienze.

Un rettangolo di filo di rame interrotto in M (fig. 41), ove il filo termina con piccole palline 1, 2, è messo in comunicazione per mezzo del filo D con una delle aste metalliche fra le

quali in B scocca la scintilla d'un rocchetto di Ruhmkorff. Se il filo D è unito ad un punto del rettangolo vicino all'interruzione, si ha una scintilla in M ogni volta che si produce la scintilla B. Se la comunicazione di M va ad un punto del rettangolo più lontano dall'interruzione M, bisogna diminuire la distanza fra le palline 1 e 2 onde ottenere la scintilla M, e questa diminuzione della scintilla M si fa sempre più marcata, mano a mano che la connessione fra il filo D ed il rettangolo

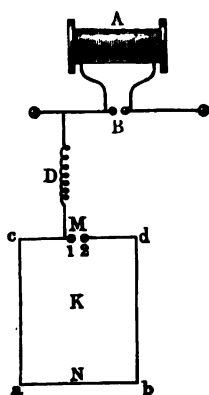
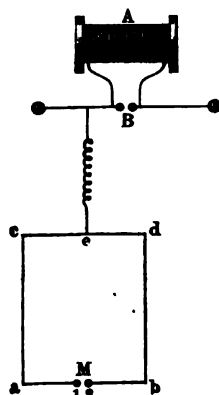



Fig. 41. Fig. 42.

ha luogo in punti più vicini al punto N opposto ad M. Infine se, come nella fig. 42, il rettangolo è connesso all'eccitatore col suo punto di mezzo, cessa in M ogni scintilla.

Hertz non tardò a riconoscere, che il materiale formante il rettangolo, purchè buon conduttore, non ha influenza sul risultato, e che neppure ne ha il filo di congiunzione D, purchè non sia soverchiamente lungo. Ma riconobbe altresì che la comunicazione D non era indispensabile, e che la scintilla in M si produceva anche disponendo le cose come nella fig. 43, cioè presentando all'eccitatore il rettangolo quasi chiuso *abcd* in opportuna posizione.

Quantunque poco differisca apparentemente l'esperienza della fig. 43 da quella della fig. 41, pure l'ultima descritta fu il primo passo verso la constatazione della *risonanza elettrica*, e

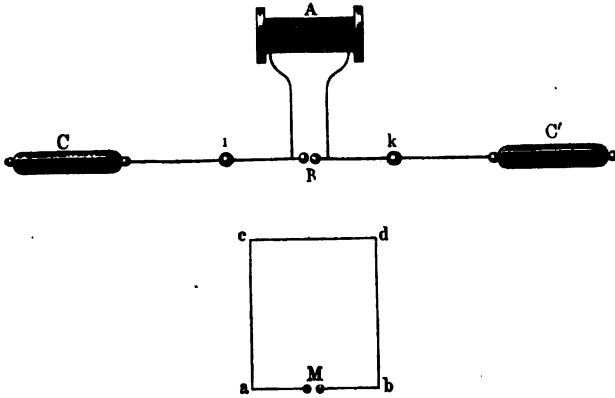



Fig. 43.

l'utilizzazione di questa per lo studio della propagazione delle onde elettromagnetiche nell'aria.

27. **La risonanza acustica e la risonanza elettrica.** — Il fenomeno della risonanza e delle vibrazioni simpatiche era noto agli antichi. Due strumenti a corda ben accordati servivano a mostrare quel curioso fenomeno, giacchè infatti bastava far vibrare una corda dell'uno, perchè la corda corrispondente dell'altro, anche se collocato a notevole distanza, entrasse spontaneamente in vibrazione, e continuasse ad emettere un suono identico quanto alla altezza a quello del primo strumento, anche dopo che era spenta in questo la vibrazione. La risonanza ha luogo nel modo migliore allorchè i periodi vibratori dei due corpi sonori sono rigorosamente eguali, ossia quando è uguale il numero di oscillazioni per ogni minuto secondo. Se questa eguaglianza non è rigorosamente verificata, il secondo corpo sonoro può entrare tuttavia in vibrazione, ma il suono che emette è tanto più debole, quanto più differiscono i periodi

vibratori dei due corpi. Quanto più persistenti sono le vibrazioni dei corpi sonori, e tanto più rigorosa deve essere l' eguaglianza di periodo. Quando, al contrario, le vibrazioni si spengono rapidamente, o come si suol dire, quando lo smorzamento delle vibrazioni è grande, il fenomeno delle vibrazioni simpatiche si produce quasi colla stessa intensità, sieno eguali i periodi vibratori o notevolmente differenti.

La spiegazione del modo in cui avviene la risonanza acustica, varrà a rendere evidente anche il modo di produzione della *risonanza elettrica*, di cui dobbiamo occuparci in questo paragrafo.

Quando un corpo vibra, esso genera nell' aria delle onde sonore sferiche, analoghe alle onde circolari, che un sasso gettato nell'acqua tranquilla d'un lago fa nascere tutt'intorno al punto urtato. Queste onde circolari, che si dilatano in ogni senso e trasportano lontano il moto oscillatorio dell'acqua, constano di parti anulari ove la superfice dell'acqua è convessa e ad un livello superiore a quello che aveva primitivamente l'acqua tranquilla, alternantisi con parti anulari concave e depresse. Le onde sonore constano di strati di forma sferica, nei quali l'aria è un poco compressa, alternantisi con altri di aria un po' rarefatta. Come su l'acqua è la forma della superficie che si sposta e non l'acqua stessa, così è lo stato di pressione superiore o inferiore a quella normale che si sposta e non l' aria, nella propagazione dei suoni.

Ogni galleggiante lontano dal centro delle onde generate sull'acqua comincia ad oscillare verticalmente non appena è raggiunto dalle onde; similmente ogni corpo raggiunto dalle onde sonore tende a vibrare, in causa delle variazioni di pressione recate dalle onde stesse. Infatti, le variazioni di pressione dell'aria non si manifestano in generale simultaneamente su tutta la superficie del corpo, nè ovunque colla stessa intensità, e perciò il corpo dovrà obbedire a quelle differenze di pressione.

Gli impulsi, che il corpo in tal modo riceve, sono periodici, e si seguono ad intervalli di tempo eguali al periodo vibratorio del corpo generatore delle onde.

Se il corpo cui arrivano le onde può vibrare, ed il suo periodo vibratorio è eguale a quello delle onde, gli effetti dei successivi impulsi si sommano e in breve tempo determinano un moto vibratorio più o meno ampio nel corpo stesso. Ed è facile comprendere, come i successivi impulsi contribuiscano a mettere il corpo in oscillazione, osservando ciò che accade, quando con urti successivi si vuol mettere in oscillazione un pendolo. Colla semplice agitazione d'un ventaglio si può mettere in oscillazione un pendolo pesantissimo, purchè si muova il ventaglio con un ritmo costante eguale a quello delle oscillazioni del pendolo stesso.

Al primo urto, per quanto debole, che il pendolo riceve dall'aria, esso si sposta qualche poco, fors'anche tanto poco, che quello spostamento potrà passare assolutamente inosservato. Il pendolo compie allora una prima oscillazione d' ampiezza piccolissima, e riceve il secondo urto nel momento opportuno, perchè valga ad aumentarne la velocità, giacchè il pendolo sta avviandosi nella direzione stessa verso la quale l'urto tende a spostarlo. La seconda oscillazione sarà dunque un poco più ampia della prima, ed in modo analogo gli altri successivi urti leggerissimi contribuiranno tutti, poichè si producono sempre nel momento favorevole, ad aumentare l'ampiezza delle oscillazioni. Se gli urti successivi arrivassero fuori di tempo, i loro effetti finirebbero col distruggersi a vicenda.

Come meglio sarà spiegato nel seguente Capitolo, quando succede una scarica oscillante, si genera nel dielettrico un sistema di onde, le quali si propagano all'intorno colla velocità della luce. Come le onde sonore tendono a far vibrare un corpo sul quale arrivano, così le onde elettromagnetiche tendono a produrre nei conduttori delle vibrazioni elettriche, giacchè il passaggio dell'onda consiste nel prodursi di forze elettriche e

magnetiche alternative, con periodo eguale a quello dell'oscillazione elettrica generatrice di quelle onde.

Pel momento basta questa cognizione generica, e non occorre conoscere la direzione di quelle forze, per render conto del fenomeno della risonanza.

Consideriamo dapprima un conduttore rettilineo AB (fig. 44) posto fra due grandi conduttori C e D paralleli ed oppostamente

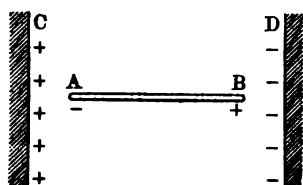



Fig. 44.

elettrizzati. Se si facessero istantaneamente sparire le cariche dei conduttori C e D, le cariche d'influenza esistenti sopra A e B si neutralizzerebbero dando luogo ad oscillazioni elettriche simili a quelle del sistema della fig. 32. Queste oscillazioni elettriche avrebbero il loro proprio periodo, dipendente dall'autoinduzione e dalla capacità del conduttore AB.

Ma non è praticamente possibile il fare sparire istantaneamente le opposte cariche dei conduttori C e D. Mettendoli in comunicazione si avrà nel sistema da essi formato, a seconda dei casi, o una scarica continua o una oscillante, e le cariche d'influenza in AB, vincolate a quelle di C e D, subiranno vicende analoghe. Se la scarica fra C e D è oscillante, le cariche in AB dovranno obbedire alle oscillazioni del campo elettrico esistente fra C e D, pur tendendo in pari tempo ad obbedire al proprio periodo oscillatorio. L'oscillazione elettrica in AB è dunque una oscillazione *forzata*. Ma se si suppone, che il periodo dell'oscillazione di scarica del sistema CD sia eguale al periodo proprio di AB, le oscillazioni elettriche in AB acquisteranno la massima ampiezza, e si avrà la ***risonanza elettrica*** fra il sistema CD ed il conduttore AB.

Se ora si sopprimono i conduttori C e D, e si suppone che il campo elettrico oscillante intorno ad AB sia dovuto al passaggio delle onde emananti da una scarica oscillante, si comprende subito che, se il periodo di questa è eguale al periodo con cui

oscillerebbe una carica nel conduttore AB, si produrranno in questo delle oscillazioni elettriche.

Ciò che si è detto pel campo elettrico, può ripetersi pel campo magnetico. Come è noto, un campo elettrico variabile è accompagnato da un campo magnetico variabile esso pure, e perciò, ove passa un'onda elettrica esiste in pari tempo forza elettrica e forza magnetica, cosicchè l'onda dovrà chiamarsi *elettromagnetica*. La forza magnetica sarà oscillante, come la forza elettrica, e con eguale periodo, cioè con periodo eguale a quello della scarica generante le onde. Orbene, il campo magnetico oscillante dovuto al passaggio delle onde fa nascere delle correnti alternative in un circuito ABC (fig. 45), specialmente se il suo piano è perpendicolare alla direzione (rappresentata con freccie) della forza magnetica. Se il conduttore è interrotto fra A e C, le oscillazioni elettriche in esso, nel caso in cui il suo periodo sia eguale a quello delle onde, potranno assumere tale ampiezza da far nascere una scintilla nell'interruzione.

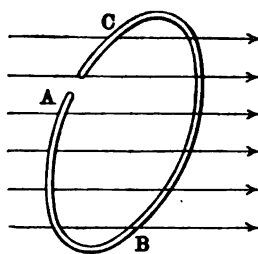



Fig. 45.

Il conduttore AB della fig. 44 dicesi *risonatore rettilineo*; quello quasi chiuso della fig. 45 è pure un *risonatore*, e se ha la forma suppostagli nella figura stessa è un *risonatore circolare*. Quest'ultimo può divenir sede d'oscillazioni anche per effetto della forza elettrica, per esempio se questa è diretta come il diametro perpendicolare a quello passante per l'interruzione. Vedremo fra poco come i risonatori valgano a riconoscere l'esistenza delle onde elettromagnetiche ed i loro caratteri.

Come nel caso della risonanza acustica, anche in questo della risonanza elettrica non è indispensabile l'eguaglianza rigorosa fra il periodo delle onde e quello del risonatore; ma la massima ampiezza d'oscillazione si produrrà nel risonatore, quando quell'eguaglianza si verifichi. L'influenza di una imperfetta

eguaglianza di periodo è tanto meno importante, quanto più forte è lo smorzamento delle onde. Perciò in certi casi, come in quello della telegrafia senza filo, per la quale generalmente si adoperano oscillazioni a smorzamento rapido, un risonatore entra in funzione anche sotto l'azione di onde di periodo alquanto diverso da quello che gli è proprio.

La risonanza elettrica può dimostrarsi in un modo evidentissimo, ricorrendo alla seguente disposizione sperimentale dovuta al prof. Lodge [7].

Due condensatori A ed A', (fig. 46) press'a poco di eguale capacità, sono riuniti a due circuiti metallici di dimensioni poco differenti. Il circuito di scarica ABCEDA del condensatore A presenta in un suo punto E una interruzione, senza della quale non sarebbe possibile caricare il condensatore. Mercè questa interruzione, se le armature del condensatore A sono in comunicazione coi conduttori d'una macchina elettrica, il condensatore si caricherà, e la sua carica aumenterà sinchè scocchi una scintilla in E, dopo di che tornerà a caricarsi e così di seguito. Stante la poca resistenza del circuito di scarica e la sua non piccola autoinduzione, le scariche così ottenute saranno certo oscillatorie, ed avranno un periodo d'oscillazione determinato, in dipendenza della capacità del condensatore e dell'autoinduzione e resistenza del circuito di scarica.

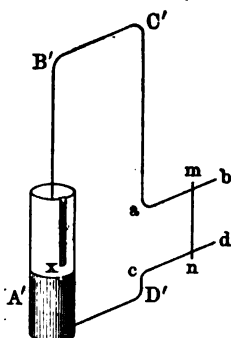
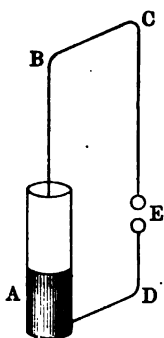



Fig. 46.

Il circuito che congiunge le armature del secondo condensatore A' è di tal forma, da potersi facilmente variare la sua autoinduzione. A questo scopo il lato C'D' del rettangolo è aperto,

ed i due tratti di filo si prolungano orizzontalmente in *ab* e *cd*, ove sono congiunti da un filo *mn*, il quale può spostarsi o verso *a* e *c* o verso *b* e *d*. L'autoinduzione del circuito A'B'C'*mn* D'A' aumenterà o diminuirà a seconda che, collo spostamento di *mn*, si farà aumentare o diminuire l'area racchiusa dal circuito stesso. Con tale disposizione torna facile far sì, che il periodo di scarica del sistema A'B'C'.... divenga uguale a quello del sistema ABC....

Se questa eguaglianza è almeno approssimativamente verificata, ad ogni scintilla che scocca in E si generano nel sistema A'B'C'.... delle oscillazioni elettriche per risonanza, anche se i due apparecchi sono a più metri di distanza. Per mettere in evidenza queste oscillazioni si può ricorrere al fenomeno del trabocco, ponendo una striscia di stagnola a cavaliere dell'orlo del condensatore A' in modo che, mentre un suo estremo tocca l'armatura interna, l'altra estremità x giunga a piccolissima distanza dell'orlo dell'armatura esterna. Se la distanza fra i due apparecchi non è eccessiva, ad ogni scintilla che scocchi in E si vedrà una scintilletta in x, la quale renderà manifeste le oscillazioni di risonanza.

La scintilla x serve naturalmente per regolare la posizione del ponte mobile *mn*. Basta infatti spostare quest'ultimo in un senso o nell'altro per constatare, che v'ha una sua posizione per la quale la scintilletta x ha il massimo splendore, e che nelle posizioni vicine a quella la scintilletta si fa più debole e finisce collo sparire.

Si verifica così che la risonanza ha luogo, quantunque meno intensamente, anche quando i periodi di oscillazione dei due sistemi non sono rigorosamente eguali.

In questa speciale disposizione la resistenza del circuito è assai piccola mentre l'autoinduzione è grande. Perciò lo smorzamento è relativamente piccolo, per cui molte sono le oscillazioni che costituiscono la scarica, ciò che esige, onde la risonanza si produca, che i due periodi d'oscillazione siano eguali o non troppo differenti.

Si può aumentare ancor più l'autoinduzione piegando il circuito di ciascun condensatore a forma d'elica, ossia di rocchetto, come mostra la fig. 47. Diverrà in tal caso sempre più necessario che sia piccola la differenza di periodo fra i due sistemi, affinchè la risonanza abbia luogo, ed in pari tempo crescerà il numero di oscillazioni formanti la scarica. Siccome poi l'energia irradiata nello spazio sotto forma d'onde elettromagnetiche, è necessariamente tanto minore, quanto più piccolo è lo smorzamento della oscillazione, così nei casi, come quello testè considerato, in cui l'autoinduzione è grande, il fenomeno della risonanza non si compie che quando è assai piccola la distanza fra i due sistemi elettricamente accordati.

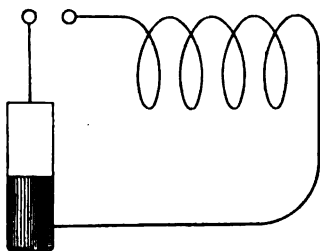



Fig. 47.

Se, come mostra schematicamente la fig. 48, i circuiti dei due condensatori A, B, formano due eliche coassiali come i due circuiti d'un rocchetto d'induzione, la produzione della risonanza nel circuito di A avrà per effetto una scarica, p. es. fra le armature stesse del condensatore A, ogni volta che avviene colla scintilla C la scarica del condensatore B, e se i periodi di scarica dei due circuiti saranno esattamente eguali, le scariche in A avranno la massima intensità.

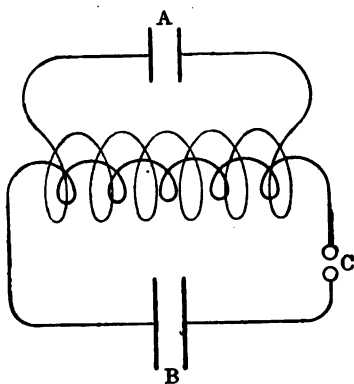



Fig. 48.

Ma i periodi dei due circuiti possono essere eguali, senza che siano eguali separatamente i fattori dai quali essi dipendono, fra cui l'autoinduzione e la capacità di ciascun circuito. Così, si può dare al condensatore A una capacità assai minore di quella di B, purchè il suo circuito

sia formato da un numero di spire assai maggiore di quello del circuito del condensatore B; anzi la capacità di A può ridursi a quella dovuta al conduttore piegato ad elica, se questo consta di un gran numero di spire. Si arriva così ad avere una specie di rocchetto d'induzione, che merita qui piuttosto il nome di *trasformatore*, nel quale l'induzione è dovuta alle oscillazioni della scarica traversante il circuito induttore. Come nel rocchetto di Ruhmkorff, la differenza di potenziale fra le estremità del filo indotto potrà superare di gran lunga quella cui è dovuta la corrente induttrice, cioè, nel caso attuale, la differenza di potenziale del condensatore B. Si avrà la massima differenza di potenziale in A, quando sarà soddisfatta la condizione di risonanza.

La disposizione della fig. 48, descritta da Tesla e da Eilhu Thomson, permette appunto di ottenere differenze di potenziale grandissime, e quindi scintille di grande lunghezza.

Nelle esperienze del capitolo seguente si adopera, per ottenere la scarica oscillante, una disposizione rettilinea simile a quella della fig. 32; allora l'autoinduzione diviene molto più piccola e perciò più forte lo smorzamento delle oscillazioni. Poche di queste, forse non più che quattro o cinque, di ampiezza rapidamente decrescente, costituiscono allora ogni scarica; e stante il rapido smorzamento, le onde così generate divengono capaci di eccitare le oscillazioni in risonatori di periodo assai differente da quello loro proprio, d'onde il fenomeno chiamato della *risonanza multipla*, di cui si parlerà più oltre.

A. Righi.

Citazioni Bibliografiche.

[1]) J. Henry. Scientific Writing, t. I, pag. 201.
[2]) H. Helmholtz. Die Erhaltung der Kraft.
[3]) W. Thomson. Philosophical Magazine, t. 5, p. 393 [1853].
[4]) Feddersen. Poggendorf's Annalen, t. 103, 108, 162, 113, 116.
[5]) O. Lodge. Proceedings of the R. Society, june 1891.
[6]) H. Hertz. Wiedemann's Annalen, t. 31, p. 421 [1887].
[7]) O. Lodge. Nature, t. 41, p. 368, 1890.

CAPITOLO II.

Le onde elettriche.

28. **Propagazione delle onde.** — Per ispiegare più facilmente il fenomeno della risonanza elettrica tornò utile il confronto col fenomeno della risonanza acustica: sarà del pari opportuno richiamare alla mente il meccanismo della propagazione dei suoni nell'aria, per giungere più facilmente a comprendere bene quella delle onde elettriche.

Si consideri dapprima, per semplicità, la formazione delle onde in una colonna d'aria contenuta in un lungo tubo, prodotte da un diaframma AB (fig. 49), il quale per ipotesi oscilla fra le posizioni estreme A′B′, A″B″, come oscillerebbe un pendolo. Supponiamo cioè, che partendo da A″ B″ il disco con velocità crescente arrivi in AB, e poi con velocità via via minore giunga in A′B′, e che dopo avere così fatta una mezza oscillazione, ritorni da A′B′ ad A″B″ muovendosi nella stessa maniera. Il disco avrà allora compiuta una oscillazione intera. Per facilitare la spiegazione supporremo diviso il tempo impiegato in questo movimento in tante piccole frazioni eguali, e considereremo ciò che accade nell'aria in causa d'ognuno dei successivi spostamenti, che potremo supporre improvvisi, fatti in ciascuno di quei piccoli intervalli di tempo.

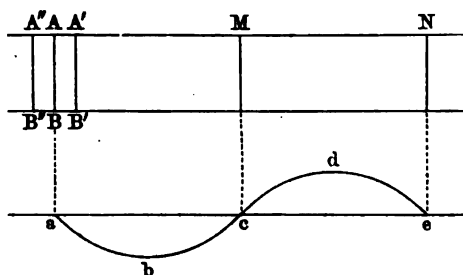



Fig. 49.

Durante il primo piccolo intervallo, il disco comprime l'aria a sè davanti, e questa compressione è massima presso il disco e

mano a mano minore più oltre, in causa della compressibilità di cui l'aria è in alto grado dotata. Ma l'aria è perfettamente elastica, e perciò quello strato d'aria si espande, comprimendo l'aria più oltre e così di seguito. Dunque, la condensazione prodotta dal brusco movimento del disco si mostra successivamente in sezioni del tubo di più in più lontane dal disco. Questa propagazione della variazione di pressione dovuta all'elasticità dell'aria si comprende meglio, quando si riflette ad una notissima e curiosa esperienza, la quale consiste nel fare cadere una palla d'avorio sospesa a guisa di pendolo, contro una fila di simili palle similmente sospese. Nessuna di esse si muove, all'infuori dell'ultima che balza lontano. Anche qui per l'elasticità del materiale la deformazione si è trasmessa attraverso la serie di palle sino all'ultima. Chi non abbia mai vista quell'elementare esperienza può improvvisarne una analoga ponendo in fila su un tavolo di marmo tante monete eguali, e poi dando, colla prima di esse, momentaneamente scostata dalle altre, un urto alla fila; si vede infatti l'ultima moneta balzare lontano, rimanendo immobili le altre, attraverso le quali tuttavia la deformazione elastica si è trasmessa. Mentre la prima compressione si sposta nel tubo, una seconda più marcata si produce nel secondo dei piccoli intervalli di tempo, poi una terza e così di seguito: e quando il disco arriva in A′B′, le condensazioni prodotte trovansi distribuite nel tratto AM del tubo. Durante la seconda parte della vibrazione, cioè mentre il disco va da A′B′ ad A″B″, esso provoca nell'aria delle rarefazioni, che si propagano in seguito alle precedenti condensazioni, mentre queste proseguono il loro cammino, e quando l'oscillazione sarà compiuta gli strati rarefatti si troveranno distribuiti sensibilmente sino in M, e quelli condensati fra M ed N essendo N lontano il doppio di M dal disco vibrante. A questo istante l'aria nel tratto AN di tubo è in parte condensata e in parte rarefatta, fuorchè in M e alle estremità. Di più a metà fra N e M sarà condensata al massimo

e a metà fra M ed il disco presenterà la massima rarefazione, mentre presenterà condizioni intermedie nelle regioni frapposte. Insomma, le successive modalità del moto durante l'oscillazione restano in certo modo registrate dagli eccessi o difetti di pressione esistenti nei vari strati d'aria fino ad N nell'istante in cui il disco ha compiuta la sua oscillazione completa. Se il disco fa una seconda oscillazione, le condizioni dell'aria descritte si trasportano più oltre d'un egual intervallo, mentre fra N ed il disco si riproduce lo stato di cose precedente, e così di seguito. La distanza AN, a cui giunge l'effetto delle vibrazioni, mentre si compie una di queste, dicesi *lunghezza d'onda*. Evidentemente, dopo due, tre, etc. vibrazioni complete le modificazioni dell'aria raggiungono distanze eguali a due, tre, etc. volte la lunghezza d'onda. Perciò si può dire, che la distanza a cui arriva l'effetto delle vibrazioni in un secondo, che poi non è altro che la velocità di propagazione, è eguale al prodotto che si trova moltiplicando la lunghezza d'onda per il numero di vibrazioni che il corpo vibrante compie in ogni secondo.

Questa importante relazione è fondamentale in ogni caso di propagazione per onde, e quindi anche per la propagazione delle onde elettromagnetiche.

Tornando alla colonna d'aria della fig. 49, ecco come si può giungere a formarsi una chiara ed esatta idea dello stato dell'aria stessa, mentre continua il moto vibratorio del diaframma AB. Sopra ogni punto d'una retta *ae*, parallela al tubo, si costruiscano delle perpendicolari di lunghezza proporzionale alla differenza fra la pressione dell'aria nello strato corrispondente, e la pressione ordinaria. Si traccierà così, relativamente all'istante in cui il disco vibrante ha compiuto la sua prima oscillazione, la curva *abcde*, la quale sarà la solita sinusoide, se il disco si muove come un pendolo. Se alla destra della curva *abcde* si traccia un altro egual tratto di curva, si otterrà la rappresentazione dello stato dell'aria dopo due vibrazioni. L'aggiunta di

un terzo tratto eguale farà conoscere le condizioni dell'aria dopo tre vibrazioni e così di seguito. Ora, la curva non muta spostandola lungo l'asse delle ascisse di un intervallo eguale alla lunghezza d'onda *ae;* perciò si può dire, che per conoscere lo stato dell'aria dopo due, tre, etc. vibrazioni, basta supporre la curva *abcde* (prolungata indefinitamente alla sinistra di *a*) spostata di una, due etc, volte l'intervallo *ae* verso la destra.

Ma non è solo per gli istanti corrispondenti a vibrazioni intere compiute dal disco AB, che questo modo di rappresentazione è valido; esso lo è invece per ciascuno istante. E così arriviamo a questa conclusione, che la curva *abcde*, supposta prolungata con altri tratti eguali alla sinistra di *a*, e messa in moto uniformemente da sinistra a destra con velocità eguale a quella delle onde, fornisce colle sue ordinate la misura dell'eccesso e del difetto di pressione dell'aria. E così si comprende bene come nella propagazione delle onde è lo stato di maggior o minor pressione che si trasporta nello spazio, e non l'aria stessa.

Con ciò non si nega che le particelle dell'aria abbiano a muoversi. Esse devono spostarsi, senza di che sarebbe impossibile il loro alternativo addensarsi e diradarsi; ma esse non fanno che oscillare intorno alla posizione che occupavano prima del passaggio delle onde.

Le onde sonore consistono appunto in quest'alternarsi di strati compressi e rarefatti, che si spostano allontanandosi dal corpo, che colle sue vibrazioni ne è la causa produttrice.

Se invece d'un disco che vibra come nella fig. 49 si imagina una sfera che vibri variando di diametro, cioè gonfiandosi e sgonfiandosi qualche poco con vicende regolari, si avrà idea delle onde sferiche da essa generate, imaginando che in tutte le direzioni accada, ciò che nel caso considerato prima accadeva soltanto in una direzione. Sorgerà solo questa differenza, e cioè che l'ampiezza delle oscillazioni di pressione si affievolisce, come è naturale, mentre cresce il raggio dell'onda.

Nel caso reale dei corpi sonori, non si ha in vicinanza immediata di essi un'onda sferica, su tutta la superficie della quale l'aria si trovi in un medesimo istante nelle medesime condizioni; ma a distanza abbastanza grande da quel corpo le onde sonore meno differiscono da quelle considerate nel caso della sfera vibrante nel senso del suo raggio.

Per applicare queste nozioni alle onde elettromagnetiche, consideriamo il caso semplicissimo delle onde generate da una scarica oscillante rettilinea, quale può essere prodotta con due conduttori eguali allineati come quelli della fig. 32, supponendo però provvisoriamente che non si abbia smorzamento, e che le oscillazioni durino indefinitamente. E siccome interessa di considerare specialmente ciò che accade a distanza grande, così ci sarà lecito considerare i due conduttori oppostamente carichi AB, fra i quali si forma la scarica oscillante, come due punti vicinissimi (fig. 50). Inoltre ci limiteremo dapprima a studiare

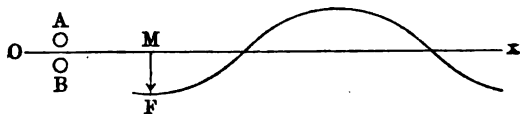



Fig. 50.

ciò che avviene lungo una retta Ox passante a metà dell'intervallo AB e perpendicolare alla stessa retta AB.

Se ad un dato momento, mentre dura la scarica oscillante, il conduttore A è carico + e B è —, la forza elettrica in un punto M di Ox sarà diretta come MF parallela ad AB. Questo stesso valore della forza elettrica esisteva un momento prima in un punto posto fra M ed AB, ed esisterà un momento dopo per un punto alla destra di M. Se per tutti i punti della retta Ox si tracciano in modo simile i valori della forza elettrica ad un dato momento, le estremità delle ordinate formeranno la solita curva serpeggiante chiamata sinusoide. Per conoscere poi come varia la forza elettrica col tempo, basterà imaginare che la detta

curva si sposti da sinistra a destra colla velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche.

Qui si è trascurato però un dettaglio importante, ed è, che mano a mano che la forza elettrica si propaga, essa diminuisce d' intensità. Perciò conviene imaginare modificata la sinusoide per modo che le sue ordinate diminuiscano mano a mano che essa cammina.

Come si vede, basta sostituire alla variazione di pressione dell' aria la forza elettrica, per passare dalla propagazione delle onde sonore a quella delle onde elettromagnetiche.

Ma sappiamo che una oscillazione elettrica è in pari tempo variazione di cariche elettriche e corrente alternativa, per cui, non solo genera forza elettrica alternativa, ma anche forza magnetica avente la stessa periodicità.

Così la scarica oscillante AB (fig. 50) produce in un punto M, oltre alla forza elettrica MF, una forza magnetica, e per quanto fu spiegato nel § 16, questa forza sarà perpendicolare al piano di Ox ed AB, che è il piano di figura. Una curva simile a quella della fig. 50, ma tracciata in un piano perpendicolare al piano di figura ed avente per traccia su di essa la retta Ox, darà idea del modo nel quale è distribuita, ad un dato momento, la forza magnetica lungo la retta Ox, ed il moto traslatorio da sinistra a destra di quella curva, che si può supporre connessa con quella tracciata nella figura, farà conoscere come varia la forza magnetica col tempo lungo la retta Ox, purchè si ammetta che anche per questa curva le ordinate vengano ridotte a scala minore mano a mano che si allontanano da AB.

È importante a notarsi che le due curve, quella tracciata nella fig. 50 relativa alla forza elettrica, e quella supposta in un piano perpendicolare, relativa alla forza magnetica, devono supporsi fra loro connesse in una maniera particolare, e precisamente in modo, che alle ordinate nulle dell' una corrispon-

dano le massime dell'altra. Infatti, quando le cariche dei due conduttori sono massime in valore assoluto, la corrente che va dall'uno all'altro sta invertendosi e quindi pássa pel valore zero. La forza magnetica è dunque nulla precisamente negli istanti in cui la forza elettrica è massima in valor assoluto. E così, quando le cariche sono nulle, la corrente ha la massima intensità, cioè quando la forza elettrica è nulla la forza magnetica ha un valore assoluto massimo.

Nelle direzioni differenti dalla Ox si propagano pure le forze elettrica e magnetica, e limitandoci a considerare ciò che accade a distanze grandi in confronto delle dimensioni del sistema AB, la forza elettrica e la forza magnetica restano fra loro perpendicolari e perpendicolari alla direzione in cui si considera la propagazione. La loro intensità è tanto minore, a parità di distanza da AB, quanto più è obbliqua la direzione di propagazione considerata rispetto alla direzione Ox: ma all'infuori di ciò le forze stesse sono distribuite lungo la linea di propagazione ed a ciascun istante in modo simile a quello, che risulta definito dal moto delle due sinusoidi considerate più sopra.

Le onde sferiche generate dalla vibrazione AB si possono dunque facilmente imaginare, se si possiede già una chiara imagine delle onde sonore, sostituendo alla variazione di pressione dell'aria, il valore della forza elettrica o quello della forza magnetica.

Abbiamo fin qui fatto astrazione dallo smorzamento della vibrazione elettrica del sistema AB, per cui le successive onde emesse erano tutte eguali, ed in un dato punto dello spazio il passaggio delle onde produceva una variazione pendolare sia dalla forza elettrica che della magnetica.

Ma in linea di fatto lo smorzamento esiste, ed è anzi assai marcato nel caso d'un sistema di conduttori quale quello supposto. Ne consegue che le successive onde emesse, in numero assai limitato, hanno *ampiezze* decrescenti, e cioè il massimo

valore raggiunto dalle due forze è mano a mano più piccolo. Per conseguenza, quando le onde emanate da una scarica oscillante passeranno per un dato punto dello spazio, le due forze saranno ivi pure oscillatorie con valori massimi successivamente decrescenti.

Si possono ottenere oscillazioni elettriche prive di smorzamento, ricorrendo a mezzi meccanici anzichè a scariche oscillanti. Se lungo la retta AB si muove un piccolo corpo elettrizzato, oscillando colla legge delle oscillazioni pendolari, si producono onde elettromagnetiche identiche a quelle che produrrebbe una scarica oscillante, che fosse priva affatto di smorzamento.

Praticamente il periodo vibratorio delle vibrazioni così ottenute sarà sempre immensamente maggiore del periodo, che suol avere una scarica oscillante, e per conseguenza il numero di oscillazioni per secondo sarà assai più piccolo, e assai più grande sarà la lunghezza d'onda. E siccome, come si vedrà fra poco, non si riesce a dimostrare l'esistenza delle onde elettromagnetiche e a studiarne i caratteri, che a patto di produrle con piccolissima lunghezza d'onda, così il metodo meccanico di generarle non è, per ora almeno, di pratica applicazione.

29. L'interferenza e le onde stazionarie. — Prima di descrivere le esperienze classiche di Hertz è util cosa lo studiare le *interferenze* e le *onde stazionarie*, che si producono quando due sistemi d'onde di egual periodo vibratorio si incontrano. Qui ancora riescirà efficace il confronto fra i fenomeni elettromagnetici e quelli analoghi più a noi famigliari prodotti da onde meccaniche. Nel caso della risonanza era naturalmente indicato il confronto colle onde sonore; qui pure cominceremo collo studiare le interferenze acustiche e le onde sonore stazionarie.

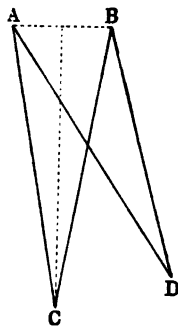



Fig. 51.

Si abbiano due corpi sonori A, B (fig. 51) in vibrazione con egual periodo, egual ampiezza ed egual fase; in altri termini si supponga, che siano eguali i numeri di vibrazione dei due suoni per minuto secondo, eguali pure le loro ampiezze, e che le condensazioni e rarefazioni nell'aria sieno dai due corpi prodotte con perfetta simultaneità. È facile comprendere che in tale condizione di cose in certi punti dello spazio l'aria rimarrà altrettanto inalterata, come se i due suoni non esistessero, mentre le modificazioni prodotte dalle onde saranno in altri punti più grandi, di quel che sarebbero, se uno solo dei corpi sonori vibrasse.

Infatti, in un punto C equidistante da A e B giungono simultaneamente le condensazioni e le rarefazioni generate in A e B, onde gli effetti si sommano. E lo stesso avviene in un punto D le cui distanze da A e B differiscano d'una lunghezza d'onda, o di due, tre etc. lunghezze d'onda, giacchè in quel punto arriveranno sempre le onde dei due sistemi in fase identica di condensazione o di rarefazione.

Si potrà dunque dire che per tutti i punti dello spazio tali, che la differenza delle distanze da A e B è o zero o una lunghezza d'onda, o due, tre etc. lunghezze d'onda, gli effetti dei due sistemi di onde si sommano. Tutti quei punti si trovano su certe superficie che i geometri chiamano *iperboloidi*, e di cui si può dare idea tracciando le loro intersezioni col piano della figura, il quale contiene i punti A e B. Queste intersezioni, segnate con linee piene nella fig. 52, sono quelle curve che i geometri chiamano iperboli, e delle quali i punti A, B sono i *fuochi;* e basterebbe far girare quelle curve intorno alla retta AB, perchè colle loro successive posizioni esse generassero gli iperboloidi.

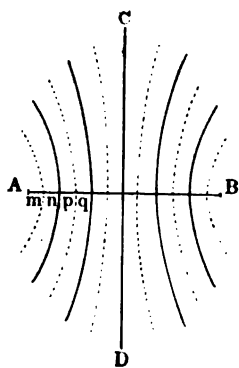



Fig. 52.

Si consideri ora il caso di un punto D (fig. 51) tale, che le sue distanze dai punti A e B differiscano di mezza lunghezza d'onda, oppure di tre, cinque etc. mezze lunghezze d'onda. In questo punto D gli effetti dei due suoni si distruggeranno a vicenda, e l'orecchio ivi collocato non li ascolterà, mentre un suono esso percepirebbe, se uno dei corpi sonori venisse soppresso.

Infatti, le onde che giungono in D sono ora necessariamente in fasi opposte; mentre per l'azione d'uno dei sistemi d'onde si dovrebbe produrre in D una rarefazione, per l'azione dell'altro dovrebbe prodursi condensazione. I due effetti non sono rigorosamente uguali, perchè essendo differenti le distanze dai centri A e B delle onde, queste arrivano con intensità diversamente indebolita; ma in generale questa circostanza può trascurarsi, almeno sinchè la differenza fra le distanze DA e DB è non troppo grande. Perciò nel punto D l'aria conserva la sua pressione costante, come se i due corpi sonori non esistessero. Le linee a tratti della fig. 52, che sono esse pure delle iperboli coi fuochi in A e B, fatte girare intorno ad AB genereranno altri iperboloidi, per ciascun punto dei quali i due suoni si estinguono reciprocamente, ossia si ha l'*interferenza*. Una esperienza assai semplice permette di ottenere le linee d'interferenza in forma d'iperboli. Basta perciò produrre, con due corpi vibranti all'unisono, delle onde trasversali in una grande tela cosparsa di sabbia [1].

Consideriamo ora in particolare i punti, nei quali le curve della fig. 52 tagliano la retta AB, cioè i punti m, n, p, q.... Pei punti n, q..., la differenza di distanza di uno di essi da A e B è un numero intero di lunghezze d'onda; pei punti m, p.... è invece un numero dispari di mezze lunghezze d'onda. Come si vede, tutti quei punti m, n, p, q, distano successivamente l'uno dall'altro precisamente di un quarto di lunghezza d'onda.

Se dunque lungo una stessa retta AB si propagano in versi opposti due sistemi d'onde di egual periodo, si troveranno sulla

retta stessa dei punti *n*, *q*.... ove le vibrazioni si sommano, ed altri intermedi *m*, *p*.... ove esse si distruggono. I primi diconsi *ventri* di vibrazione e gli ultimi diconsi *nodi*, e la distanza fra due successivi nodi o fra due successivi ventri è uguale alla metà della lunghezza d'onda.

Come si vede, mentre un unico corpo sonoro genera delle onde propagantesi in ogni senso, e tutto il mezzo che le propaga è, con fasi diverse, in istato di vibrazione, un sistema di due corpi all'unisono produce uno stato di cose stazionario; e cioè vi sono regioni in perpetua quiete ed altre in continua vibrazione. Si riserva la denominazione di *onde stazionarie*, alle vibrazioni prodotte sulla retta AB da onde propagantisi in sensi opposti.

Le onde stazionarie non sono altro che le vibrazioni proprie d'un corpo sonoro, o in altre parole se, per esempio, la colonna d'aria d'un tubo sonoro emette un suono, ciò avviene perchè delle onde si propagano in versi opposti nella colonna d'aria. Uno dei sistemi d'onde nasce nell'imboccatura del tubo, altri si producono per riflessione alle estremità.

Ed invero, se dei due corpi sonori A e B della fig. 52 ne esistesse uno solo, per esempio A, e se le onde da esso emanate si riflettessero sopra una superficie CD, in virtù delle leggi della riflessione, le onde riflesse camminerebbero verso A, e sarebbero identiche a quelle che nel caso prima considerato emetteva il corpo B (salvo una modificazione di fase che accade in certe circostanze). L'insieme delle onde, che da A si dirigono verso il piano riflettente CD, e delle onde riflesse, che camminano in senso contrario, darà luogo alla formazione delle onde stazionarie, cioè ai ventri *n*, *q*.... ed ai nodi *m*, *p*....

Mediante un corpo sonoro posto di fronte ad una grande parete verticale, sulla quale le onde possano riflettersi, si verifica facilmente la produzione dei ventri e dei nodi, e si riconosce il luogo da essi occupato, in perfetto accordo con quanto l'esposto ragionamento ha fatto prevedere.

È evidente, che questo fenomeno delle onde stazionarie è una diretta conseguenza ed una riprova della natura vibratoria dei fenomeni sonori, e basterebbe la constatazione della produzione di nodi e ventri fissi in questa esperienza per persuadersi, se già per altre vie non si sapesse, che i suoni si debbono a moti regolari di vibrazione.

La produzione d'onde elettromagnetiche stazionarie, che fra poco insegneremo ad ottenere, avrà egual valore dimostrativo.

D'altra parte l'esperienza delle onde sonore stazionarie resterebbe inesplicabile, se il suono non avesse una velocità di propagazione determinata. Infatti la posizione dei nodi e dei ventri è fissata da condizioni di tempo, e per certo non si formerebbero onde stazionarie, se il suono si comunicasse istantaneamente a qualunque distanza. Così la constatazione delle onde elettromagnetiche stazionarie porge la dimostrazione della non istantaneità di comunicazione delle forze elettriche e magnetiche attraverso lo spazio.

Infine, se si misurano separatamente il numero di vibrazioni per secondo del corpo sonoro, la lunghezza d'onda, la quale è il doppio della distanza fra due nodi o fra due ventri successivi, e la velocità di propagazione del suono, si dovrà trovare verificata la legge fondamentale, secondo la quale si trova la velocità moltiplicando la lunghezza d'onda pel numero di vibrazioni. Orbene, la stessa verificazione sarà possibile colle onde elettromagnetiche, o quanto meno, note che siano due di quelle grandezze, la legge suddetta porgerà il mezzo di calcolare la terza.

Nelle vecchie teorie delle azioni a distanza si ammetteva, che le forze elettriche e magnetiche si facessero sentire istantaneamente a qualunque distanza; la teoria di Maxwell richiede invece, che le forze stesse spieghino la loro azione all'intorno del luogo, nel quale hanno origine, con un certo ritardo in proporzione della distanza alla quale l'effetto loro viene considerato,

o in altri termini, che esse si propaghino con una certa velocità, che è poi quella della luce. Orbene, le esperienze di Hertz, delle quali dobbiamo ora occuparci, forniscono la dimostrazione diretta della verità della seconda maniera di considerare le cose, ed è in ciò che risiede l'immensa loro importanza scientifica.

30. **Esperienze di Hertz** [2]. — Nell'esperienze della fig. 43 il rettangolo quasi chiuso dava delle scintillette in M, benchè completamente staccato dai conduttori terminali del rocchetto A. Variando alquanto le dimensioni del rettangolo fu riconosciuto, che esisteva una certa dimensione, colla quale era possibile ottenere in M la massima lunghezza della scintilla, e che tale dimensione del rettangolo capace di dare la massima scintilla variava insieme alle dimensioni, forma etc. dei due conduttori, fra i quali avevano luogo le scintille del rocchetto. Non poteva dunque rimanere dubbio sulla causa del fenomeno. Poichè quando il rettangolo era connesso ad uno di quei conduttori, la scintilla in M era dovuta ad una differenza di potenziale causata dal tempo richiesto alla propagazione nel conduttore della perturbazione elettrica, così anche col rettangolo staccato la scintilla doveva provenire da uno stato elettrico variabile lungo il filo. Nell'uno come nell'altro caso doveva trattarsi di una perturbazione periodica prodotta dalla scarica oscillante dei due conduttori caricati con elettricità contrarie dal rocchetto, giacchè la scintilla in M richiedeva per formarsi certe dimensioni del rettangolo, e verosimilmente dimensioni tali, che il rettangolo stesso fosse percorso tutto durante una mezza oscillazione di scarica. In tal caso infatti doveva prodursi la *risonanza.*

La differenza fra il caso della fig. 43 e quello della fig. 41 non poteva dunque essere che questo, cioè che nel secondo caso la perturbazione era trasmessa dai conduttori ove ha sede la scarica oscillante al rettangolo, principalmente per conduzione lungo il filo D, mentre invece quando, come nella fig. 43, quella comunicazione D non esisteva, la perturbazione era propagata

attraverso il dielettrico. Si ha dunque così una più intima analogia col noto fenomeno delle vibrazioni sonore simpatiche: il sistema dei due conduttori che si scaricano tiene il posto del corpo sonoro messo direttamente in vibrazione, mentre il rettangolo tiene il posto del secondo corpo, capace di vibrare collo stesso periodo vibratorio appartenente al primo corpo, e che entra in vibrazione sotto l'azione delle onde sonore da questo emanate. Si comprende quindi come sia conveniente il chiamare *oscillatore* il sistema generante le onde elettromagnetiche, e *risonatore* il rettangolo, il quale appunto in virtù del fenomeno della risonanza svela, colle sue scintille, la presenza delle onde elettromagnetiche, e, come stiamo per far vedere, serve a mettere in evidenza i caratteri di queste stesse onde.

Ordinariamente il risonatore ebbe nelle esperienze di Hertz una forma circolare anzichè rettangolare, semplicemente perchè è più adatta a certe esperienze. Inoltre, alle sue estremità A, B (fig. 53) si fissarono, da una parte una pallina o un dischetto e dall'altra una vite acuminata, allo scopo di variare agevolmente la distanza esplosiva offerta alla scintilla.

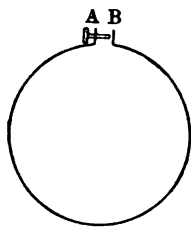
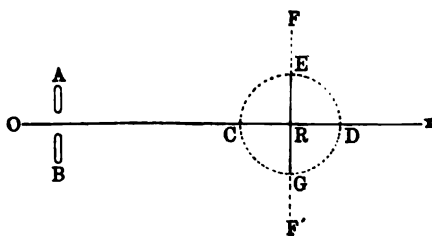



Fig. 53. Fig. 54.

Per mezzo del risonatore circolare si possono mettere in evidenza i caratteri delle onde emesse dall'oscillatore, e dimostrare che tali caratteri sono conformi a quanto è stato stabilito nel § 28, in relazione alla fig. 50.

Sia AB (fig. 54) l'oscillatore, formato da due conduttori che ricevono cariche opposte da un rocchetto d'induzione o

da una macchina ad influenza, e fra i quali si produce la scintilla oscillatoria, e si osservi un risonatore circolare collocato col suo centro in un punto R di una retta Ox perpendicolare ad AB, e orientato in varie maniere. Supporremo che R disti abbastanza da O, perchè tanto il campo elettrico quanto il campo magnetico siano sensibilmente uniformi in tutto lo spazio occupato dal risonatore.

Se, in primo luogo, il risonatore è in CD col suo piano perpendicolare ad AB, esso resta inattivo, vale a dire che non appaiono scintille, neppure se si rende piccolissimo l'intervallo fra le sue due estremità. Per quanto si è spiegato nel § 28 così doveva essere. Infatti la forza elettrica in R è diretta lungo FF′ e quindi non può produrre cariche oscillanti nel filo del risonatore; la forza magnetica in R è perpendicolare al piano della figura, e perciò il suo flusso attraverso una superficie avente per contorno il filo del risonatore è nullo, e nulla quindi l'induzione nel filo medesimo.

Se, in secondo luogo, il risonatore, pur conservandosi col suo piano ad angolo retto col piano di figura viene collocato secondo EG parallelamente all'oscillatore, si otterranno in esso le scintille, dato che l'interruzione non si trovi nè in E nè in G, e tali scintille assumeranno la massima lunghezza, quando l'interruzione del risonatore si trovi ad una delle estremità del suo diametro perpendicolare ad Ox e ad AB.

L'effetto osservato è dovuto alla forza elettrica delle onde. Infatti, mentre la forza magnetica, essendo come nel caso precedente parallela al piano del risonatore, non produce nessun effetto, la forza elettrica tende a dare cariche opposte alle due metà del risonatore separate dal diametro di esso perpendicolare ad AB. Se l'interruzione è in E o in G, le due estremità del risonatore assumono ad un istante qualunque il medesimo potenziale; ma se invece l'interruzione è altrove, le estremità del filo acquistano potenziali di segno contrario, e la massima differenza di poten-

ziale sarà raggiunta, quando l'interruzione si troverà sopra una delle estremità del diametro perpendicolare al piano della figura.

Se, in terzo luogo, il risonatore è disposto come indica la circonferenza punteggiata nella fig. 54, cioè col suo piano passante per l'asse di figura dell'oscillatore AB, si vedranno sempre le scintillette di risonanza. Esse saranno prodotte o solo dalla forza magnetica dell'onda, o da questa e dalla forza elettrica, a seconda della posizione dell'interruzione. Infatti, nel caso attuale la forza magnetica oscillante è perpendicolare al piano del risonatore, ed il flusso magnetico che passa entro di esso ha il massimo valore. Se l'interruzione è in E od in G, la forza elettrica non produrrà nessun effetto; ma nelle altre posizioni, che si possono dare alla detta interruzione, la forza elettrica contribuirà al fenomeno. Anzi, qualora l'interruzione sia precisamente in C o in D, l'effetto sarà massimo.

Col risonatore circolare si verificano dunque i caratteri, che dovevano mostrare la forza elettrica e la forza magnetica propagantisi intorno all'oscillatore.

Ma l'esperienza delle onde stazionarie, che ora dobbiamo imparare a conoscere, mette fuori d'ogni possibile dubbio la realtà delle onde elettromagnetiche.

Ad una certa distanza dall'oscillatore AB (fig 55) sia posta una grande lastra metallica ZZ perpendicolare alla retta Ox, ai punti della qual retta per semplicità limitiamo le nostre investigazioni. Le onde si rifletteranno sulla lastra metallica, come le onde sonore sopra un'estesa parete, e retrocederanno da x verso O. Lungo la retta Ox coesisteranno i due sistemi d'onde, quello che parte da O e quello che ritorna verso O, per cui dovranno formarsi

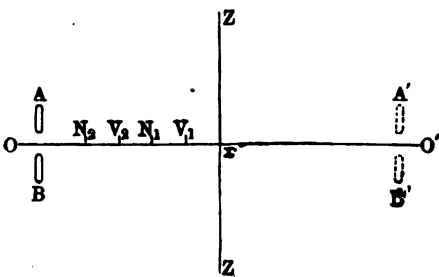



Fig. 55.

le onde stazionarie, descritte nel precedente §. Orbene, il risonatore circolare convenientemente adoperato serve a metterle in piena evidenza.

Cominciamo col tenere il piano del risonatore perpendicolare ad Ox, e colla interruzione ad una delle estremità del diametro perpendicolare ad Ox e ad AB, cioè nella posizione nella quale esso risente meglio l'azione della forza elettrica, e non affatto quello della forza magnetica. Collochiamolo prima a contatto del riflettore ZZ e poi muoviamolo gradatamente lungo Ox andando verso O. Dapprima il risonatore resterà inattivo, ma poi diverrà possibile osservare in esso delle scintille di più in più lunghe, sinchè divengono massime, quando si giunge in un punto V_1. Le scintille scemano quindi nuovamente, sicchè per poterle pure osservare bisogna accostare di più in più le estremità del risonatore, e arrivando in un certo punto N_1 esse più non si mostrano. In seguito ricompaiono, acquistano un massimo in V_2, si estinguono in N_2, e così di seguito. Notando con cura le posizioni dei punti V_1, N_1, N_2, etc. si riconosce, che essi sono equidistanti. I punti x, N_1, N_2... sono dunque i nodi, V_1, V_2... i ventri delle onde stazionarie. Le distanze V_1V_2 oppure xN_1, N_1N_2 saranno tutte eguali a metà della lunghezza d'onda.

In generale non si osservano che tre o quattro nodi, ciò che è conseguenza dello smorzamento rapido delle oscillazioni nell'oscillatore. Infatti, se si considerano per esempio le due onde le quali colla loro interferenza sono la causa del nodo che si forma nel punto N_2, si riconosce, che l'onda partita da O, riflessa in x e pervenuta in N_2, ha percorso due volte la via N_2x in più dell'onda che arriva direttamente da O ad N_2, ossia ha percorso un maggior cammino di due lunghezze d'onda. Perciò nell'oscillatore si saranno compiute due intere oscillazioni fra la partenza da esso dell'onda riflessa, e quella dell'onda diretta, e durante tale intervallo di tempo le oscillazioni avranno diminuito di ampiezza in causa del loro smorzamento. Il nodo N_2

non è dunque completo (e diffatti qualche piccola scintilla vi si osserva adoperando un risonatore sensibilissimo), e cioè le due onde non si annullano completamente, in causa dell'avere esse ampiezze differenti.

Questa diversità dell' ampiezza d' oscillazione elettrica si accentua naturalmente di più in più, prendendo a considerare, invece del secondo nodo N_2, il terzo, o il quarto etc. a partire dal riflettore, e così si comprende, come questi nodi successivi tendano a sparire. Bisogna però notare, che la diminuzione di ampiezza delle oscillazioni propagate, dovute all' aumento del diametro delle onde, compensa in parte l' effetto dello smorzamento, in quanto al rendere meno perfetta l' interferenza nei nodi.

Non meno completo appare il parallelismo fra le onde stazionarie elettromagnetiche e le onde stazionarie acustiche, se invece di studiare col risonatore la distribuzione delle forze elettriche, si studia quella delle forze magnetiche.

Occorre a questo scopo tenere il risonatore nel piano della figura, in modo cioè che il piano di esso passi per AB; inoltre, per eliminare gli effetti della forza elettrica, occorre porre l' interruzione del risonatore in una delle estremità del diametro di esso parallelo ad AB. Tenuto in tal modo e spostato gradatamente da x verso O esso porge i risultati seguenti.

Se il risonatore è presso x oppure in N_1, N_2.... le scintille vi si producono colla massima lunghezza. Se invece è in V_1, V_2.... le scintille mancano. In una parola, i nodi e i ventri relativi alla forza elettrica divengono rispettivamente i ventri ed i nodi relativamente alla forza magnetica. Per la forza elettrica si ha un nodo sulla superficie riflettente, invece per la forza magnetica si ha ivi un ventre.

Che così debba essere, risulta dalla seguente considerazione, la quale, non essendo in fondo rigorosa, può accettarsi almeno come mezzo per ricordare questi fatti.

Le onde partite da un punto O poi riflesse da una superficie piana, siano onde liquide, onde sonore, onde luminose o onde elettromagnetiche, sono quali potrebbero essere originate da un punto O′ posto sulla Ox al di là del riflettore e a distanza da questo eguale a quella della sorgente O. Così nel caso attuale le onde riflesse sono quali sarebbero prodotte da un oscillatore A′B′ identico ad AB e posto in O′.

A qualsiasi istante le cariche di questo oscillatore ipotetico A′B′ devono però assumersi di segno contrario a quelle di AB. Infatti, una carica elettrica fissa in O genera su ZZ per influenza una carica di segno contrario, la cui azione alla sinistra di ZZ è eguale a quella di una carica posta in O′, eguale in valore assoluto e contraria di segno a quella esistente in O; e lo stesso accade (almeno quanto al segno) se la carica in O oscilla, e produce onde identiche a quelle d'un oscillatore. Se ora consideriamo l'effetto risultante nel punto x, vediamo come la forza elettrica totale debba essere sempre nulla, giacchè la forza dovuta ad AB è eguale e contraria a quella dovuta ad A′B′. Invece le due forze magnetiche si sommano, giacchè le due correnti di scarica in AB ed in A′B′ sono ad un istante qualunque di direzioni inverse, ma in pari tempo il punto x si trova da parti opposte rispetto ai due oscillatori.

Le esperienze descritte, realizzate la prima volta da Hertz, furono poi d'ogni parte ripetute, anche in diversa scala. A seconda delle dimensioni e della forma dell'oscillatore, la lunghezza d'onda che può dare sarà più o meno grande, e a seconda dello scopo, pel quale le esperienze devonsi eseguire, si sceglierà la dimensione migliore. Per le dimostrazioni nei corsi è preferibile far uso di onde piuttosto lunghe ma potenti, quali sono quelle che fornisce l'oscillatore ad olio di vasellina che si descriverà più oltre. Con tale oscillatore si ottengono nel risonatore scintille vivacissime; e se le estremità di questo si congiungono cogli elettrodi d'un piccolo tubo a gas rarefatto

(meglio se fatto con vetro all'uranio), si ottiene una illuminazione del tubo abbastanza intensa perchè sia veduto distintamente da ogni punto d'un vasto locale.

L'esperienza delle onde stazionarie offre una facile misura della lunghezza d'onda. Nelle esperienze primitive di Hertz essa era di circa nove metri, giacchè la distanza fra i successivi nodi era di quattro e mezzo. D'altra parte la misura delle dimensioni dell'oscillatore, supposto di forma abbastanza semplice, per esempio due sfere congiunte da un filo rettilineo interrotto nel mezzo, permette di calcolare il suo periodo d'oscillazione, e quindi il numero di oscillazioni per secondo. Moltiplicando insieme i due numeri si ottiene come risultato la velocità di propagazione delle onde, e precisamente un numero poco differente da trecentomila chilometri, che è il valore approssimato della velocità della luce.

Nelle esperienze descritte si può sostituire al risonatore circolare un risonatore rettilineo, cioè un semplice filo con una interruzione a metà; ma sono possibili con esso solo le constatazioni relative alla forza elettrica.

Il risonatore rettilineo si presta meglio del circolare nella maggior parte delle esperienze destinate a dimostrare l'analogia fra le onde elettromagnetiche e le onde luminose. Questa analogia fu mostrata da Hertz colla riflessione e colla rifrazione, e più tardi da altri colla riproduzione dei molteplici fenomeni dell'Ottica mediante le onde hertziane. All'esposizione di queste esperienze è dedicato un successivo paragrafo di questo capitolo; perciò qui accennerò solo alle esperienze di riflessione e di rifrazione realizzate da Hertz [3].

In base ad un'ardita e fortunata generalizzazione, egli pose il suo oscillatore nel fuoco d'uno specchio parabolico (praticamente sferico o cilindrico). Ognuno sa che uno specchio di tal genere applicato ad una sorgente luminosa, vale a dirigere a grande distanza un fascio di raggi paralleli; lo stesso effetto pro-

duce la lastra metallica MN applicata all'oscillatore O (fig. 56). Questa lastra ha forma cilindrica colle generatrici parallele all'oscillatore, e la sua sezione è sensibilmente un arco di parabola MN, di cui l'oscillatore occupa il fuoco. Se il fascio di *raggi di forza elettrica,* per adoperare l'espressione di Hertz, ossia l'onda piana limitata che parte dal riflettore MN, incontra obliquamente una lastra metallica SS, si otterrà la riflessione, sì che entrerà in azione il risonatore rettilineo R., munito esso pure del suo riflettore cilindrico, se l'apparecchio sarà collocato in modo, che le note leggi della riflessione sieno rispettate.

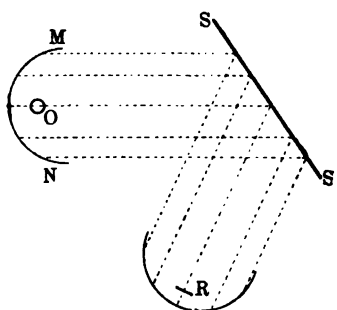



Fig. 56.

Naturalmente, se si sopprime la lastra SS, bisogna mettere i due apparecchi O ed R di fronte l'uno all'altro onde il risotore dia scintille.

Verificato ciò, Hertz pose fra i due apparecchi un grande prisma di asfalto e verificò, che per ottenere ancora le scintille nel risonatore, occorreva spostarlo angolarmente in tal maniera, da rivelare l'esistenza della rifrazione.

In tutte le esperienze descritte è bene che il periodo oscillatorio del risonatore e dell'oscillatore sieno eguali; ma questa non è condizione necessaria e fors'anche in certi casi è bene non sia soddisfatta. Ad ogni modo un medesimo oscillatore può far agire risonatori aventi periodi differentissimi. Ciò fu constatato da Sarasin e De la Rive [4], i quali diedero a tal fenomeno il nome di *risonanza multipla.* È ormai accertato che la causa di esso sta nella rapidissima diminuzione e nel piccolo numero delle oscillazioni costituenti ogni scarica dell'oscillatore. Quando si eseguisce l'esperienza delle onde stazionarie successivamente con vari risonatori, si trovano fra i successivi nodi intervalli

diversi, e quindi diverse lunghezze d'onda. In generale la lunghezza d'onda così determinata è quella del risonatore, cioè corrisponde al periodo oscillatorio di questo e non a quello dell'oscillatore; e ciò per la ragione che lo smorzamento delle oscillazioni del risonatore è in generale assai minore di quello delle oscillazioni dell'oscillatore. Se invece si adoperasse un oscillatore, il cui smorzamento fosse minore di quello del risonatore, si avrebbe un risultato inverso, e la distanza dei nodi resterebbe la stessa con un dato oscillatore, variando anche di molto il risonatore adoperato per trovarne la posizione, e la distanza stessa risulterebbe eguale alla metà della lunghezza d'onda relativa alle oscillazioni dell'oscillatore.

31. **Le onde elettriche nei fili.** — Già le esperienze descritte nel § 26 ci hanno mostrato, come le perturbazioni elettriche periodiche si propaghino nei conduttori, producendo fenomeni di risonanza elettrica. Nella maggior parte di quelle esperienze l'oscillatore era una bottiglia di Leida col suo circuito di scarica, e stante la capacità relativamente grande d'un tale condensatore. il periodo della scarica oscillante era certamente molto maggiore di quello proprio ad un oscillatore come quello adoperato da Hertz. Ne consegue, che era difficile poter osservare nei fili metallici connessi al circuito di scarica delle onde stazionarie. Ma coi suoi oscillatori Hertz riescì facilmente ad osservare lungo dei fili conduttori una serie di nodi e di ventri dovuti alla propagazione nei fili stessi delle oscillazioni generate dal suo oscillatore [5].

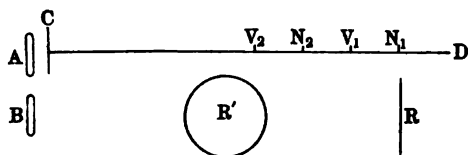



Fig. 57.

Una delle maniere, in cui si può eseguire una esperienza di questo genere, è la seguente.

Presso uno dei due conduttori formanti l'oscillatore si colloca un altro conduttore C (fig. 57), per esempio un disco metallico

isolato, in comunicazione con una delle estremità di un filo metallico CD. Quando fra A e B si forma la scarica oscillante, il conduttore A è alternativamente carico di elettricità positiva e negativa, e lo stesso accadrà per influenza nel conduttore C, la cui carica ad un istante qualunque avrà segno opposto a quella di A. Queste pulsazioni elettriche si propagheranno nel filo, e cioè lo stato elettrico esistente in C ad un dato istante, si troverà più tardi in punti del filo di più in più lontani da C; all'estremità D avverrà la riflessione, e dal comporsi delle onde riflesse con quelle dirette risulterà la formazione di onde stazionarie. Il filo diviene dunque la sede d'un fenomeno elettrico oscillante, che il risonatore circolare convenientemente adoperato e spostato lungo il filo da D verso C, permette di definire.

Si collochi dapprima il risonatore R in modo, che il suo piano sia perpendicolare al filo, e che la sua interruzione sia all'estremità del diametro perpendicolare al filo medesimo. È chiaro, che la carica posseduta dal filo nei punti i più vicini al risonatore, tende a caricare per influenza in senso opposto le sue due metà; e perciò, poichè quella carica è alternativa, essa provocherà la risonanza. Si vedono infatti le scintille nel risonatore; ma spostandolo da D verso C si riconosce, che mentre all'estremo D e davanti ai punti V_1, V_2.... le scintille sono vivaci, in certi punti intermedi N_1 N_2.... le scintille scompaiono, mentre nel passaggio da un punto di un gruppo ad uno dell'altro la scintilla cresce o cala gradatamente di lunghezza. I punti D, N_1, V_1, N_2, V_2.... sono equidistanti, e indicando l'esistenza delle onde stazionarie, per le quali N_1 N_2.... sono nodi, e cioè punti nei quali il filo resta scarico, e D, V_1, V_2 ventri, e cioè punti nei quali le variazioni di carica sono massime.

Acciocchè avvenga un tal fenomeno, occorre naturalmente che nel filo esista uno spostamento elettrico oscillatorio, ossia delle correnti elettriche alternanti, le quali produrranno forze magnetiche; e siccome le linee di forza magnetica, come fu detto più

volte altrove, sono circonferenze col centro sul filo ed in piani a questo perpendicolari, così, per mettere in evidenza la forza magnetica, bisognerà dare al risonatore la posizione R′, e cioè tenerlo in modo che il suo piano passi pel filo. In tal modo la forza magnetica passerà entro il risonatore, normalmente al suo piano, ed il suo flusso alternativo genererà nel filo del risonatore le oscillazioni elettriche indotte. L'interruzione dovrà porsi o nel punto il più vicino al filo o nel punto il più lontano, onde la forza elettrica non tenda essa pure a far agire il risonatore. Se ora lo si sposta gradatamente da D verso C, si vede, che esso dà forti scintille in N_1, N_2..., e non ne dà in D, V_1, V_2.... Qui pure cioè i nodi per la forza elettrica sono ventri per la forza magnetica e viceversa.

L'analogia colle vibrazioni dell'aria in un tubo sonoro chiuso alla sua estremità è, come si vede, assai completa. La forza elettrica corrisponde alla pressione dell'aria, la forza magnetica alla vibrazione di essa. All'estremità chiusa del tubo l'aria non vibra, ma le alternative di condensazione e rarefazione sono massime, e lo stesso avviene in punti distanti dal fondo successivamente di mezz'onda, di un'onda intera, di un'onda e mezza etc. Nei punti di mezzo di questi intervalli la pressione dell'aria non muta, ma le vibrazioni nella direzione dell'asse del tubo hanno la massima ampiezza.

È possibile far agire sul risonatore in pari tempo e le onde propagate nell'aria e quelle propagate lungo il filo, con che si verifica, che non esiste differenza nelle loro velocità; o più semplicemente, si può per ciascun caso moltiplicare la lunghezza d'onda pel numero di vibrazioni calcolato dell'oscillatore. Si trova così che la velocità è la stessa nei due casi, ciò che non può recare meraviglia sapendosi, che mentre le correnti alternative sono propagate sopra tutto dagli strati superficiali dei conduttori, per uno spessore tanto più piccolo quanto più rapide sono le alternazioni, colle alternazioni rapidissime di un oscillatore è

certo uno strato estremamente sottile del filo, che prende parte al fenomeno. E l'energia elettrica, la quale si propaga, secondo l'ipotesi giustificata di Poynting, in direzione perpendicolare in pari tempo alla forza elettrica ed alla forza magnetica, è soprattutto trasmessa dal dielettrico (o dall'etere in esso contenuto) che circonda il filo. Si può dire anzi, che il conduttore non ha altro effetto che di mutare la forma delle onde, e far sì, che l'energia irradiata dall'oscillatore, anzichè propagarsi divergendo in ogni senso, sia soprattutto guidata nella direzione del filo. Come Hertz potè constatare, la natura del filo conduttore non ha in generale sensibile influenza sul fenomeno.

Un caso interessante di onde stazionarie in fili metallici è offerto dalla seguente disposizione sperimentale dovuta al Lecher [6]. Un oscillatore AA′ (fig. 58) formato da due lastre piane A, A′ e da due fili metallici terminanti nelle palline F, ove

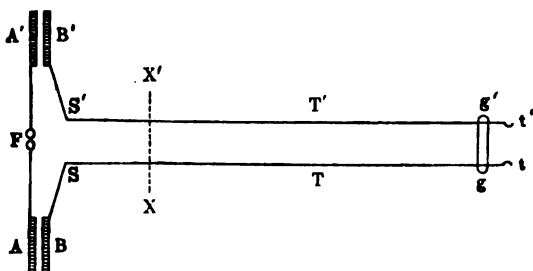



Fig. 58.

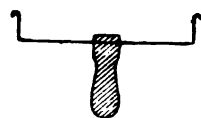



Fig. 59.

scocca la scintilla, ha di fronte due altre lastre B, B′ parallele alle A, A′, connesse a fili paralleli T, T′, Un ponte mobile XX′, che congiunge due punti prospicienti dei fili, può farsi scorrere lungo i medesimi. Questo ponte non è che un filo di rame munito di manico (fig. 59). Una volta che il ponte è sui fili, resta costituito un circuito FA′B′X′XBAF, comprendente due condensatori in serie AB ed A′B′, e l'intervallo F per la scintilla. Un tal sistema, che può caricarsi congiungendo le palline F ai poli d'un rocchetto d'induzione o ai conduttori d'una macchina elet-

trica, possiede un proprio periodo d'oscillazione, che si potrà modificare spostando il ponte XX', giacchè difatti mercè questo spostamento si fa variare l'autoinduzione del sistema. Presso il sistema, nel quale hanno sede le scariche oscillanti, esiste il conduttore *t'*X'X*t*, il quale, se ha dimensioni appropriate, potrà funzionare da risonatore. Per riconoscere se questa risonanza ha luogo, si potrebbero accostare le estremità *tt'* come nel risonatore circolare di Hertz; ma il Lecher preferisce collocare sui fili presso *t* e *t'* un tubo di vetro *gg'* contenente un gas rarefatto, il quale s'illumina allorchè la risonanza ha luogo.

Ciò posto, se si sposta il ponte da *tt'* verso F, mentre scoccano scintille fra le palline dell'oscillatore, si trova ben presto una posizione del ponte per la quale il tubo *gg'* diviene brillante. Quando il ponte occupa tal posizione il periodo oscillatorio del sistema FABXX'B'A' è eguale a quello del filo *t*XX'*t'* e la lunghezza d'onda è eguale al doppio della lunghezza di questo.

Ma se si continua a spostare il ponte verso i condensatori, dapprima la luminosità del tubo si spegne, ma poi si trovano nuove posizioni, per le quali il tubo brilla nuovamente. Ora, avendo spostato il ponte nel senso indicato, si è reso certamente via via minore il periodo delle oscillazioni, mentre d'altra parte si è allungato il filo *t*XX'*t'*; non può dunque supporsi che abbia luogo la risonanza nelle stesse condizioni come nella precedente posizione del ponte. Orbene, è facile verificare, che ora sui fili X*t*, X'*t'* esistono dei nodi, e che perciò si sono formate delle onde stazionarie. Si potrà anzi trovare facilmente la posizione di quei nodi facendo scorrere sui fili un secondo ponte simile ad XX', giacchè quando il secondo ponte si porrà in corrispondenza di essi, la luminosità del tubo rimarrà invariata, mentre diminuirà o sparirà affatto ponendo il secondo ponte in altra posizione.

La facilità con cui colla disposizione descritta si ottiene e si constata la risonanza ha fatto sì, che essa venga adoperata spesso nelle ricerche sperimentali.

I nodi e i ventri lungo i due fili possono rendersi direttamente manifesti coll'artificio insegnato dal Sig. L. Arons [7], che consiste nel racchiudere la maggior parte dei fili fra XX′ e le loro estremità t, t', entro un lungo tubo (fig. 60), nel quale,

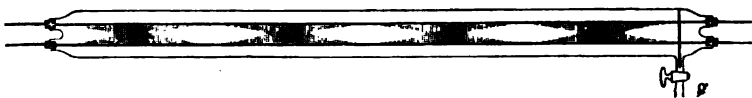



Fig. 60.

mercè il rubinetto g, si è rarefatta l'aria. Osservato nell'oscurità questo tubo, le posizioni occupate dai ventri sono rese visibili dalle scariche, che illuminano il gas fra i due fili.

Chi scrive ha ottenuto un risultato analogo per altra via [8]. I due fili paralleli, lontani circa 3 centimetri uno dall'altro sono applicati contro una lunga striscia di vetro su cui fu incollata della limatura di zinco. Ad ogni scarica fra le palline F (fig. 58) appaiono fra le particelle di limatura in corrispondenza ai ventri delle scintillette assai vive. L'esperienza riesce particolarmente brillante facendo uso di uno degli oscillatori ad olio di vasellina, che saranno descritti nel § seguente, e che è rappresentato dalla fig. 71.

32. **Oscillatori.** — Abbiamo finora considerato gli oscillatori, come sistemi conduttori nei quali si formano scariche oscillanti, senza occuparci della loro forma e struttura. Ora questi dettagli possono avere in date circostanze una importanza capitale; perciò nel presente paragrafo saranno brevemente descritti i principali tipi di oscillatori, che riescono utili, sia nelle esperienze già descritte, sia in quelle di cui si tratterà più avanti, dopo di che si faranno alcune osservazioni sul loro modo di funzionare.

Nelle sue esperienze Hertz adoperò diversi oscillatori. In quello della fig. 43, i due conduttori sono cilindrici; ma Hertz adoperò pure due conduttori filiformi portanti delle sfere nelle estre-

mità lontane, quando ebbe bisogno di calcolarne il periodo oscillatorio. Qualche volta sostituì alle sfere due lastre metalliche piane, e cioè quando, come nelle esperienze descritte nel § precedente, uno o entrambi i conduttori formanti l'oscillatore dovevano agire per influenza su altre lastre conduttrici. Per ottenere onde brevi, Hertz formò l'oscillatore come mostra la (fig. 61), cioè con due cilindri d'ottone terminati in sfere di 2 centimetri di raggio.

Un tale oscillatore si prestava bene ad essere circondato da una lastra metallica riflettente, piegata a cilindro parabolico, per le esperienze di riflessione e di rifrazione descritte alla fine del § 30. La minima lunghezza d'onda che Hertz ottenne coll'oscillatore della fig. 61 fu di circa 66 centimetri.

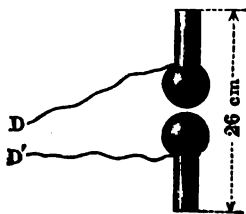



Fig. 61.

Il modo di funzionare di tutti questi oscillatori non è molto regolare, specialmente se di piccole dimensioni. Infatti, quand'anche le palline fra cui si forma la scintilla sieno rivestite di platino, esse subiscono per opera delle scintille certe alterazioni, in virtù delle quali la scarica si modifica poco a poco ed anche cessa di essere oscillatoria. D'onde la necessità di ripulire frequentemente le dette palline. È dunque della massima utilità la disposizione ideata da Sarasin e De-la-Rive, la quale consiste nel far scoccare la scintilla nell'olio comune.

In tal modo l'oscillatore funziona bene per lungo tempo.

Chi scrive trovò conveniente adoperare l'olio di vasellina, e diede all'oscillatore una forma tale, che lo si può chiamare *oscillatore a tre scintille*. Quando debba servire a produrre onde di qualche metro di lunghezza per le esperienze da lezione, esso viene costruito nel modo seguente [9].

Due aste d'ottone penetrano in un pallone di vetro a tre tubulature G, H, I, di cui la superiore I (fig. 62) è aperta, e che

è pieno d'olio di vasellina. Le aste terminano con sfere A, B, C, D, e portano due dischi di rame M, N, che su di esse possono scorrere. Due conduttori, E, F comunicanti colla macchina elettrica forniscono all' oscillatore le necessarie cariche, per mezzo di due scintille AE, FD di qualche centimetro di lunghezza. La scintilla BC non è che di uno o due millimetri.

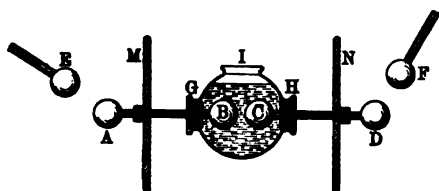
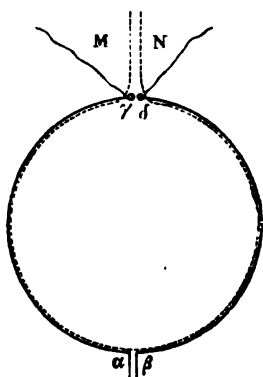



Fig. 62.

Gli oscillatori a liquido isolante, oltre il pregio della costanza di effetti, e questo pregio è posseduto al massimo grado da quelli ad olio di vasellina, presentano un'altra particolarità. Siccome a parità di distanza esplosiva occorre, per generare una scintilla nel liquido, una differenza di potenziale molto maggiore di quella, che occorre per una scintilla nell'aria, così la quantità di elettricità che prende parte alle oscillazioni sarà nel primo caso assai maggiore che nel secondo, donde la produzione di effetti più intensi. È bensì vero che, soppresso il liquido, si può aumentare quella quantità di elettricità allungando la scintilla; ma l'esperienza dimostra che, oltre un certo limite di lunghezza della scintilla, le oscillazioni cessano di prodursi.

Fig. 63.

Una forma d'oscillatore, che si scosta dalle altre, è quella dell'oscillatore di Blondlot [10], il quale però si presta bene solo per produrre onde nei fili conduttori. Un piccolo condensatore ad aria è formato dalle armature $\alpha\beta$ (fig. 63); partono da esse due fili terminanti nelle palline γ, δ piegati in modo da formare una linea quasi chiusa. Le cariche opposte sono

date da un rocchetto alle palline, e fra queste si scarica il condensatore, non appena fra le sue armature esiste la necessaria differenza di potenziale. Vicinissimo al circuito di scarica descritto è collocato un filo metallico, che si prolunga con due lunghi fili paralleli M, N. Durante ogni scarica il circuito $\gamma\alpha\beta\delta$ è percorso da una corrente oscillante, la quale ne fa nascere per induzione una simile nei fili paralleli, coi quali si possono poi eseguire le stesse esperienze, per le quali serve la disposizione di Lecher (§ 31).

Il prof. Lodge [11] ideò un oscillatore costituito da un semplice conduttore isolato (per esempio sferico) A (fig. 64), sul quale due conduttori B, C comunicanti coi poli della sorgente elettrica producono due scintille in corrispondenza a punti diametralmente opposti. Le due cariche opposte acquistate così dal conduttore si neutralizzano dopo una serie di oscillazioni, cioè dopo che le cariche alla superficie si sono alternate regolarmente per un certo numero di volte. Lo stesso Lodge diede pure al conduttore A la forma di cilindro cavo (fig. 65), caricato internamente dalle scintille fornite dalle palline B, C.

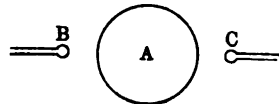



Fig. 64.

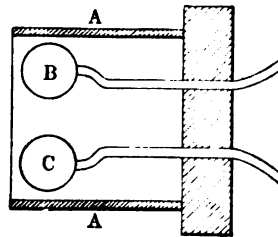



Fig. 65.

Questi oscillatori sono assai poco efficaci e lo prova il fatto che gli oscillatori a tre scintille, come quelli delle fig. 66, 67 e 68, che saranno descritti fra poco, diventano quasi inattivi, quando si mettono a contatto le due sfere che li costituiscono. Ora, così facendo, essi si trasformano in un oscillatore del tipo di quelli del Lodge.

L'oscillatore *a tre scintille*, ideato dall'Autore di queste pagine, si può costruire in modo tale, che esso produca onde di pochi centimetri di lunghezza. Alla costruzione di tale oscilla-

tore, che venne largamente adottato, sia tal quale, sia con qualche modificazione di dettaglio, l'Autore fu condotto in seguito alle seguenti considerazioni.

Siccome il periodo oscillatorio della scarica cresce colla capacità del sistema conduttore che si scarica e coll'autoinduzione del circuito, è chiaro, che per rendere piccolo quel periodo occorre diminuire per quanto è possibile e la capacità e l'autoinduzione. I due conduttori formanti l'oscillatore dovranno dunque avere piccole dimensioni, ed il filo, interrotto nel mezzo, che li congiunge, dovrà avere la minima lunghezza. I due conduttori furono ridotti a due piccole sfere di rame massiccie, ed il filo fu soppresso, ponendo le sfere a così piccola distanza, che la scintilla si formasse direttamente fra esse. E per profittare dei vantaggi che risultano dal far scoccare la scintilla in un liquido isolante, si fece in modo che un tal liquido si trovasse fra le sfere.

Un oscillatore di tal specie si può improvvisare nella forma della (fig. 66) [12]. Le sfere B, C, costituenti l'oscillatore, sono fissate nell'apertura più piccola di due tronchi di cono di vetro EF, GH, ottenuti tagliando due piccoli imbuti. Essi sono sostenuti da due righe L, M di legno o ebanite, e la distanza loro secondo la verticale, e quindi anche la distanza fra B e C, può aggiustarsi mediante una vite V. L'olio di vasellina è versato nell'imbuto inferiore, e le cariche necessarie all'oscillatore BC sono fornite, mercè le scintille AB, CD, da due conduttori A, D comunicanti colla macchina elettrica o col rocchetto.

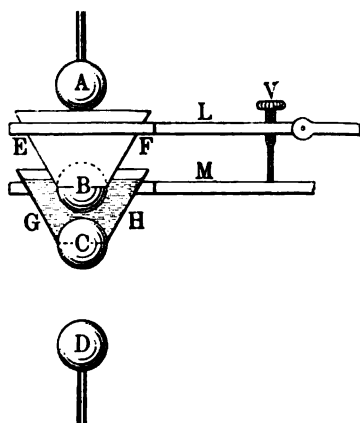



Fig. 66.

Opportune esperienze valsero a dimostrare, che le scintille AB, CD non hanno parte alcuna nella produzione delle onde, e che quella fra B e C ha invece la massima importanza, tanto che se le due sfere giungono a toccarsi non si producono più le onde in modo osservabile. Tutto ciò conferma, che le oscillazioni generatrici delle onde hanno sede nel sistema BC, e si producono nel modo previsto.

Nell' oscillatore della figura 66 l' asse è verticale. Nella forma della fig. 67 esso è invece orizzontale [13].

Le sfere B e C son fissate in due righe isolanti EF, GH, la cui distanza può variarsi mercè la vite V. Esse sono immerse nel liquido contenuto nel vaso LM, e ricevono la carica dai conduttori A, D, circondati da grossi tubi di vetro, affinchè non si formi una scintilla unica fra A e D alla superficie del liquido. Le tre scintille AB, BC, CD si formano in questo caso tutte nel seno del liquido.

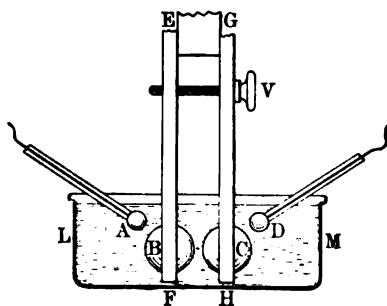



Fig. 67.

Per lo scopo delle esperienze del § 34 non può bastare, nè l' oscillatore ad asse verticale della fig. 66, nè quello ad asse orizzontale della fig. 67; occorre invece una disposizione, che permetta d' inclinare comunque la retta che congiunge i centri delle due sfere [14]. Questo risultato venne raggiunto colla disposizione della (fig. 68). Le sfere sono incastrate nei fori centrali di due dischi di legno o d' ebanite CD, EF, formanti come le basi d' una scatola piena di olio di vasellina, e le cui pareti laterali sono formate da pergamena artificiale. Questa ha

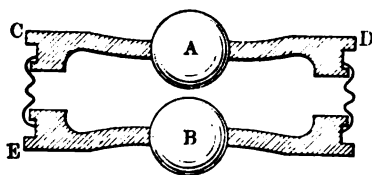



Fig. 68.

sufficiente flessibilità perchè sia possibile regolare la distanza fra le due sfere.

L'oscillatore può essere munito di un riflettore parabolico SS (fig. 69). Il tutto è fissato ad un asse AB munito d'un indice D, e mobile in un sostegno CC. Un cerchio graduato EF serve a misurare l'inclinazione dell'oscillatore.

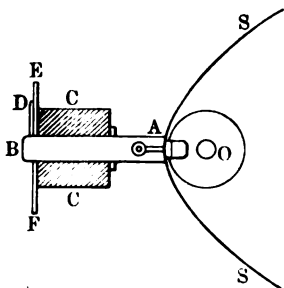



Fig. 69.

La (fig. 70) mostra l'oscillatore col suo riflettore ACDB, ed i conduttori G, H, che gli forniscono le cariche. Nella stessa figura vedesi lo specchio L del risonatore a striscia di vetro, che sarà descritto nel § seguente, come pure qualche accessorio relativo ad esperienze del § 34.

Qualunque sia la disposizione data alle due sfere, a seconda delle loro dimensioni l'oscillatore si presta ad eccitare risonatori di diversa lunghezza d'onda. Con sfere di 8 centimetri di

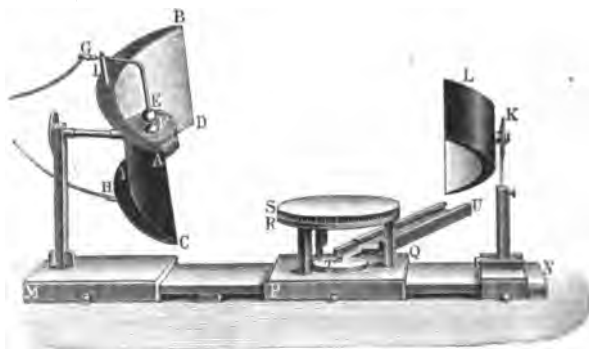



Fig. 70.

diametro convengono risonatori corrispondenti a circa 20 centimetri di lunghezza d'onda. Se le sfere hanno poco meno di 4 centimetri di diametro, si possono adoperare risonatori aventi circa 10 centimetri e mezzo di lunghezza d'onda. Infine con sfere aventi solo 8 millimetri di diametro, si possono osservare onde

di circa 26 millimetri di lunghezza. La dimensione intermedia (onde di dieci centimetri e mezzo) è la più vantaggiosa per la maggior parte delle esperienze del § 34.

Fra le modificazioni di forma introdotte nell'oscillatore or ora descritto merita d'essere segnalata quella, che lo rende adatto all'esperienza delle onde nei fili [15]. Alle due sfere E, F formanti l'oscillatore sono saldate due lastrine di ottone A, B (fig. 71). Altre due lastrine eguali C, D poste di fronte ad esse comunicano coi fili I, L, che si prolungano poi coi fili paralleli, nei quali devono formarsi le onde stazionarie. L'oscillatore riceve le cariche per mezzo dei fili G, H da un rocchetto di Ruhmkorff. Tutto il sistema delle quattro lastre è contenuto in una cassetta di vetro piena di olio di vasellina.

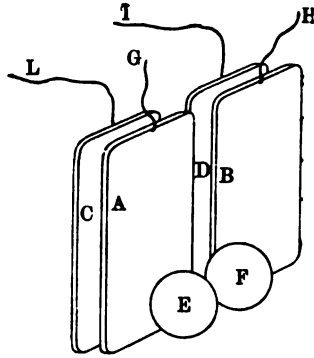



Fig. 71.

L'oscillatore dell'Autore venne costruito in dimensioni piccolissime dai Sig. Lebedew e più recentemente dal Sig. Pierce.

Le due sfere sono, nell'oscillatore di Lebedew [16], sostituite da due cilindretti di platino P_1 P_2 (fig. 72) lunghi tredici decimi di millimetro e grossi mezzo millimetro, saldati alle estremità di due tubi di vetro affilati G_1 G_2. Entro i tubi penetrano i fili D_1 D_2, che per mezzo di due scintille recano ai fili P_1 P_2 le cariche, che ricevono dal rocchetto J. Fra uno dei fili D_1, D_2 ed il rocchetto il Lebedew trovò conveniente interporre una forte resistenza W ed un condensatore C. Un piccolo specchio concavo circonda il minuscolo oscillatore, e

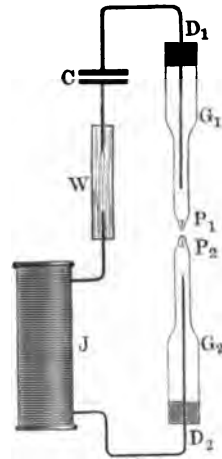



Fig. 72.

questo specchio insieme ai tubi G_1 G_2 è immerso in un bagno di petrolio.

Nell'oscillatore di Pierce i cilindretti P_1, P_2 sono lunghi 8 millimetri e grossi 1, e la lunghezza d'onda ottenuta è di circa 44 millimetri. La resistenza W ed il condensatore C sono soppressi, come pure il riflettore ed il bagno d'olio, i quali avrebbero impedito l'uso speciale, al quale il Pierce destinava il proprio oscillatore. Occorreva tuttavia far sì, che la scintilla fra i cilindretti di platino scoccasse in un liquido isolante, ed a questo scopo si fece lentamente colare lungo la parete esterna del tubo di vetro superiore un filetto d'olio, il quale manteneva una gocciolina immobile fra le estremità dei cilindretti.

Ciò che caratterizza un oscillatore è il suo periodo d'oscillazione e lo smorzamento più o meno rapido delle sue oscillazioni.

Negli oscillatori chiusi, come sarebbe una bottiglia di Leida nel suo circuito di scarica (fig. 46), si riscontra uno smorzamento assai piccolo, per cui ogni scarica consta di un gran numero di oscillazioni. E questo può essere vantaggioso in certi casi, come nella telegrafia, giacchè ha per conseguenza la necessità d'una molto approssimata *sintonia* (cioè eguaglianza di periodo vibratorio) affinchè un risonatore entri in azione. Ma l'intensità della radiazione emessa diminuisce assai rapidamente al crescere della distanza, ciò che rende meno adatto un tale oscillatore per la trasmissione di segnali a grandi distanze.

Un oscillatore rettilineo presenta il vantaggio, che la radiazione da esso emessa diminuisce di intensità assai più lentamente al crescere della distanza a cui perviene; ma in compenso presenta un rapido smorzamento, in virtù del quale può far nascere le oscillazioni elettriche in sistemi di conduttori, il cui periodo sia differentissimo da quello che gli è proprio.

Il periodo delle oscillazioni si può calcolare in base alla forma e dimensione dei conduttori formanti l'oscillatore, oppure

si può ottenere dividendo la lunghezza delle onde prodotte (per esempio nella esperienza delle onde stazionarie) per la velocità della luce. Oppure si divide questa velocità per la lunghezza d'onda, ed allora si ottiene il numero di oscillazioni per ogni minuto secondo.

Questo numero è sempre grandissimo. Col più piccolo degli oscillatori adoperati da Hertz (fig. 61) il numero d'oscillazioni per secondo era di poco meno di mezzo miliardo; coll'oscillatore della fig. 70, costruito nella grandezza media (onde lunghe 10 cent. e mezzo) il detto numero è circa 3 miliardi. Ma, come si disse, ogni scarica si compie con poche vibrazioni d'ampiezza decrescente, ciò che mostra come la durata della scarica dell'oscillatore sia estremamente breve.

Per quanto questi numeri siano grandi, essi restano tuttavia molto al disotto di quelli che spettano alle vibrazioni luminose, e più ancora di quelli relativi a quelle vibrazioni invisibili (raggi ultravioletti), che sono così eminentemente atte a produrre effetti elettrici o fotochimici. Appaiono invece grandissimi, se si confrontano ai numeri di vibrazioni per secondo che possono generare i suoni. Ma non è difficile avere oscillatori il cui periodo sia maggiore di quello degli oscillatori descritti, e fin anche è possibile ottenere periodi uguali a quello dei suoni anche gravi.

Con oscillatori, che diano grandi lunghezze d'onda, non è possibile misurare questa lunghezza col metodo delle onde stazionarie, giacchè si richiederebbe all'uopo un riflettore piano di dimensioni praticamente irrealizzabili. Perciò non si può in tal caso valutare il periodo d'oscillazione, che ricorrendo alla imagine dilatata della scintilla, ottenuta col metodo di Feddersen od altro analogo; ma l'esperienza presenta difficoltà pratiche rilevanti. Il signor Decombe ha tuttavia misurato in tal modo il periodo d'un oscillatore, che aveva circa

5 milioni per numero d'oscillazioni al secondo. Nell'imagine fotografica ottenuta erano visibili le singole oscillazioni, le quali apparivano perfettamente sincrone. Ciò conferma, che un oscillatore ha un periodo proprio d'oscillazione, e che non si deve cercare di spiegare il fenomeno della risonanza multipla coll'imaginare, che le oscillazioni dell'oscillatore non sieno pendolari, ma composte d'un gran numero di oscillazioni semplici di diversi periodi.

A rigore però le ricerche sperimentali più recenti hanno dimostrato, che oltre all'oscillazione, che si può chiamare fondamentale, si producono in un oscillatore delle oscillazioni più rapide, che corrisponderebbero ai suoni armonici dei corpi sonori. Ma si tratta di periodi vibratori, generalmente in rapporto semplice col periodo della vibrazione fondamentale, e non seguentisi con continuità, come si erano invece imaginati da alcuni per render conto della risonanza multipla.

Le ricerche suddette furono fatte dal sig. Kiebitz col metodo seguente [18]. Davanti ad un oscillatore formato da due aste o fili metallici messi sulla stessa retta e_1, e_2 (fig. 73) sta un risonatore circolare, che si prolunga in due fili paralleli DD. Un ponte B di filo metallico può scorrere su di essi, e così può far variare la lunghezza utile del filo del risonatore. Spostando gradatamente il ponte B, si trova una prima posizione per la quale le scintille in C sono vivacissime, ed altre posizioni, più prossime a C, nelle quali si notano pure dei massimi, quantunque meno marcati, delle scintille in C. Ciò dimostra che, oltre alla vibrazione fondamentale, l'oscillatore rettilineo ne produce altre di periodi più piccoli e meno intense. Spostando lateralmente il risonatore, mentre è accordato per una di queste vibrazioni superiori, esso dà scintille ora più ora meno vive, rivelando così, che lungo i fili e_1 e_2 vi sono dei punti

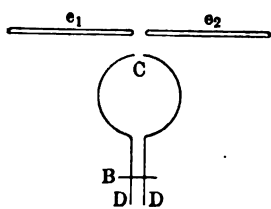



Fig. 73.

nei quali vibrazione non esiste, ed altri ove si manifesta colla massima intensità. In altre parole si riconosce l'esistenza di nodi e di ventri sui due fili e_1 ed e_2, simili a quelli che si constatarono nelle esperienze, alle quali si riferisce la fig. 57. Infine, dalla misura della lunghezza del risonatore si ebbe la valutazione delle lunghezze d'onda, e così si trovò, che i numeri d'oscillazione per secondo corrispondenti alle oscillazioni coesistenti nell'oscillatore stanno fra loro come i numeri dispari successivi 1, 3, 5 etc. Per esempio, con un oscillatore lungo in complesso due metri e mezzo, le lunghezze del risonatore, allorchè dava i massimi di scintille, furono 248 centimetri, 83 cent. (che è circa un terzo di 248), 50 cent. (circa un quinto di 248) e così di seguito. Inoltre, con speciali risonatori di più in più piccoli si potè verificare l'esistenza di oscillazioni molto elevate, e cioè sino alla diciasettesima, il cui corrispondente risonatore era formato con un filo lungo circa 14 centimetri.

Già si era paragonato un oscillatore ad un tubo sonoro aperto alle due estremità. Si sa che in un tal tubo l'aria vibra in modo, che a metà si ha un nodo e alle estremità dei ventri; e si sa che in un oscillatore le estremità sono ventri per la forza elettrica ed il punto di mezzo un nodo. Orbene, un lungo oscillatore rettilineo si comporta come un lungo tubo sonoro, il quale oltre al suo suono fondamentale può produrre in pari tempo dei suoni più acuti.

Se non che un tale tubo sonoro dà suoni tali, che i loro numeri di vibrazioni stanno fra loro come i successivi numeri 1, 2, 3 etc., mentre nella serie delle vibrazioni superiori dell'oscillatore mancano quelle di rango pari. Ora, alle vibrazioni superiori del tubo sonoro corrispondono diverse ripartizioni di nodi e ventri, e precisamente, mentre alle estremità del tubo esistono sempre i ventri, nel punto di mezzo si ha o ventre o nodo, secondo che si tratta dei suoni di rango pari o di rango dispari. Perciò si può dire, che l'oscillatore si comporta come

un tubo sonoro, nel quale non possano prodursi che quelle vibrazioni, per le quali a metà di esso trovasi un nodo.

Sembra allora naturale il considerare ogni oscillatore piuttosto come due tubi sonori messi vicini, entrambi aperti alle estremità esterne e chiusi nelle estremità vicine. Si sa infatti, che un tubo sonoro chiuso ad una estremità ed aperto all'altra, oltre al suono fondamentale, può produrne altri di più in più acuti, i cui numeri di vibrazione sono ordinatamente eguali a tre, cinque, sette etc. volte quello del suono fondamentale.

L'analogia fra un oscillatore e un sistema di due tubi sonori si prosegue anche sotto altri aspetti. Così, un tubo sonoro, la lunghezza del quale non sia molto grande in confronto della sua sezione, non emette che pochi e deboli suoni superiori insieme al suono fondamentale, ed anzi, se è addirittura di lunghezza poco superiore alle altre dimensioni, esso non emette che il suono fondamentale. Del pari se l'oscillatore, invece di essere formato di due lunghi e sottili fili metallici; come nella fig. 73, consta di brevi cilindri o meglio ancora di due sfere, esso non produrrà più che una oscillazione unica.

Infine, tubi sonori di forme diverse dalla cilindrica o prismatica, danno suoni superiori, i cui periodi non sono sempre in rapporto semplice con quello del suono fondamentale. Lo stesso accade per oscillatori di forma diversa da quella rettilinea.

Queste analogie fra le oscillazioni elettriche e quelle dell'aria nei tubi sonori possono riescire utili nella previsione di fenomeni speciali, e perciò non dovevano essere qui omesse.

Degli oscillatori più specialmente adoperati nella telegrafia colle onde elettriche si farà cenno nel § 35.

33. **Indicatori delle onde elettromagnetiche.** — Dopo aver studiato gli strumenti produttori delle onde elettromagnetiche è naturale che debbansi studiare gli strumenti, che rivelano l'esistenza di queste onde, e permettono così di studiarne i

caratteri e le proprietà. Molti di tali indicatori non sono che modificazioni del risonatore di Hertz, al quale vennero aggiunte disposizioni speciali destinate a far conoscere se in esso avvenivano o no le oscillazioni. Altri invece, ai quali più particolarmente dovrebbe riservarsi la denominazione di indicatori, sono apparecchi destinati a svelare l'esistenza di onde in un circuito del quale fanno parte, mentre essi stessi non compiono l'ufficio di risonatori. In complesso si conoscono oggi 22 indicatori diversi, che qui saranno passati in rassegna. Alla fine del Capitolo sarà data la indicazione delle fonti alle quali deve attingere il lettore, che desideri intorno ad essi più dettagliate indicazioni.

1. Il primo in ordine di data è il risonatore di Hertz, in forma circolare o rettilinea, già descritto nel § 30. Il filo che lo forma è sede di oscillazioni di risonanza, simili a quelle d'un tubo sonoro con ventri alle estremità ed un nodo a metà. Se le due estremità del filo sono a piccola distanza, scocca la scintilla, in conseguenza dell'essere sempre di contrario segno i potenziali oscillatorii ai ventri. Nel risonatore rettilineo le cose devono accadere in modo un poco diverso. Quando su di esso comincia l'azione delle onde, ogni metà dell'oscillatore vibra per risonanza; ma siccome nelle estremità centrali i potenziali sono ad ogni istante di segni opposti, così, se l'intervallo che le separa è abbastanza piccolo, si forma fra esse una scintilla. Da questo momento in poi le due metà del risonatore comunicano insieme per mezzo della scintilla stessa e formano un unico conduttore, che vibra per risonanza. La risonanza multipla spiega, come possa aver luogo risonanza con periodi vibratori l'uno circa doppio dell'altro. In tal modo si rende conto del fatto, che nel risonatore rettilineo le estremità sono ventri, e si forma nodo precisamente nel mezzo, ove si mostra la scintilla rivelatrice delle oscillazioni.

2. L'Autore ha modificato il risonatore rettilineo allo scopo di dargli una maggior sensibilità [19]. Poichè le rapide oscilla-

zioni elettriche non penetrano nei conduttori, così il conduttore formante risonatore può avere uno spessore piccolissimo, e ridursi per esempio ad uno strato d'argento come quello degli specchi usuali; ed è probabile anzi che vi sia vantaggio in questa riduzione dello spessore. D'altra parte è noto, che le scintille elettriche, che strisciano sul vetro, hanno a parità di differenza di potenziale una lunghezza superiore a quella delle scintille nell'aria libera. Perciò resta naturalmente fissata la scelta del risonatore, giacchè si potrà formarlo con una striscia di specchio la cui argentatura sia divisa in due nel mezzo di essa. La fig. 74 farà comprendere la materia nella quale si costruiscono questi risonatori di vetro argentato.

Preso un sottile specchio del commercio ABCD, si leva la vernice che ricopre l'argento, indi l'argento stesso nelle parti ABFE, GHCD, lasciandolo intatto solo nel retangolo EFHG. Allora, mediante un'apparecchio speciale di cui è parte principale un finissimo diamante da incisore, si fa scorrere la punta di questo sull'argento secondo la retta LM, che divide a mezzo lo strato metallico. Si riesce così a togliere l'argento lungo la retta LM per una larghezza di due o tre millesimi di millimetro. Infine, con un diamante ordinario si taglia lo specchio in tante striscie di egual larghezza parallelamente ai lati AD, BC, e così si ricava un gran numero di risonatori eguali fra loro.

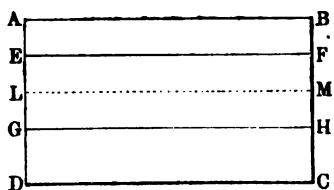



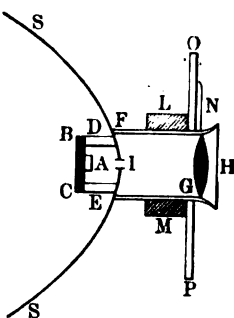
Fig. 74.

La lunghezza d'onda di tali risonatori è diversa a seconda delle loro dimensioni. Se la loro larghezza fosse piccolissima, la larghezza d'onda sarebbe sensibilmente il doppio della lunghezza del risonatore; ma d'ordinario è invece assai di più. Così i risonatori, coi quali furono possibili le esperienze del § 34, e la cui lunghezza d'onda era di 106 millimetri, erano lunghi 36 e

larghi 2 millimetri. La loro sensibilità, quando sono nuovi, è maggiore di quanto si potrebbe prevedere. Se tanto il risonatore quanto l'oscillatore sono muniti del loro riflettore (fig. 70), si possono allontanare i due apparecchi l'uno dall'altro sino ad oltre 25 metri, senza che chi guarda attraverso la lente K cessi di vedere le scintille di risonanza. L'esperienza sorprende sempre chi per la prima volta vi assiste, ed è naturale che abbia fatto sorgere spontanea l'idea di tradurla in grande scala per la produzione di segnali a distanze; in ogni modo essa aiuta a comprendere come, sostituendo al piccolo risonatore un indicatore d'onde di gran lunga più sensibile, come per esempio quello che sarà descritto al n. 14, si possa riescire a riconoscere anche a distanze molto più grandi l'effetto del piccolo oscillatore a tre scintille.

La sensibilità dei risonatori descritti diminuisce coll'uso dapprima rapidamente e poi più adagio; perciò, se si vogliono fare lunghe ricerche, le quali richieggano una certa costanza nella sensibilità del risonatore, bisogna, o cambiare frequentemente il risonatore in modo da adoperarlo sempre colla sensibilità massima, o meglio, quando molta sensibilità non sia richiesta, adoperare un risonatore già da tempo in uso.

Fig. 75.

Per le esperienze *ottiche* è utile corredare il risonatore dello specchio concavo L (fig. 70). Come quello dell'oscillatore questo specchio può essere cilindrico anzichè sferico. La striscia argentata, formante il risonatore, viene fissata in A (fig. 75) contro una riga d'ebanite BC parallela alle generatrici del riflettore di rame SIS. Fra questo e la riga sta un tubo d'ebanite DE che forma un piccolo ambiente buio in corrispondenza all'interruzione dell'argentatura del risonatore. Questa interruzione è guardata attraverso un foro I praticato nel riflettore per mezzo d'una lente G.

Tutto il sistema descritto, insieme ad un indice N, può muoversi intorno all'asse del tubo metallico FG, che contiene l'oculare, sopra un sostegno LM, al quale è fissato un cerchio graduato OP. Il risonatore riceve così ogni voluta inclinazione, la quale è misurata sulla graduazione del cerchio OP.

3. Il sig. Dragoumis [20] ed altri proposero di rendere meglio palesi le oscillazioni elettriche in un risonatore hertziano, sostituendo alla scintilla nell'aria la scarica in un gas rarefatto.

4. Lo stesso Autore propose di segnalare indirettamente le scintille del risonatore, collocando presso il luogo in cui devono formarsi un preparato fotografico [21].

5. I signori Lucas e Garret, specialmente per esperienze dimostrative, posero il risonatore in un miscuglio esplosivo, idrogeno ed ossigeno, oppure idrogeno e cloro. La risonanza determinava così una piccola detonazione [22].

6. Il predetto sig. Dragoumis propose un altro artificio destinato a rendere palese la risonanza [23]. Esso consiste nel collegare le due metà del risonatore rettilineo di Hertz ad un circuito contenente una pila ed una soneria elettrica. La scintilla prodotta dalla risonanza dovrebbe servire di momentanea chiusura del circuito e così dovrebbe mettere in azione la soneria.

7. Il sig. Boltzmann [24] ed altri fisici ricorsero ad un altro artificio. Una delle metà del risonatore comunica con un elettroscopio, e l'altra col polo isolato di una pila elettrica. La scintilla di risonanza stabilirà una momentanea comunicazione, e l'elettroscopio accuserà la carica elettrica in tal modo ricevuta. Nella disposizione del sig. Drude, le scintille producono invece la scarica dell'elettroscopio, giacchè questo è posto in comunicazione col polo isolato della pila e con una delle due metà del risonatore, mentre l'altra metà comunica col secondo polo della pila e col suolo.

8. Il sig. Birkeland [26] e più tardi il sig. Turpain [26] ricorsero alla disposizione seguente. Nel risonatore è inserito un

condensatore, le cui armature sono collegate alle estremità del circuito d'un ordinario telefono di Bell. Le oscillazioni elettriche sono allora accusate dai rumori che si odono nel telefono accostato all'orecchio.

9. Il sig. Zehnder [27] ha inventato un metodo assai ingegnoso, che permette di mostrare anche a distanza l'effetto delle oscillazioni di risonanza. Egli adopera perciò un tubo contenente gas rarefatto (fig. 76) munito di cinque elettrodi metallici. Due di essi *a*, *b* terminano internamente in due cilindretti d'alluminio vicinissimi, e sono messi in comunicazione colle due metà d'un risonatore rettilineo o colle estremità d'uno circolare. Due altri elettrodi *c* ed *e* sono in comunicazione coi poli d'una batteria di piccoli accumulatori, in numero appena inferiore a quello necessario, onde si illumini il tubo fra *c* ed *e*. Infine l'elettrodo *f* serve per introdurre nel tubo, per via di elettrolisi attraverso il vetro, una certa quantità di vapore di sodio, il quale rende assai brillante la scarica. A questo scopo il serbatoio inferiore *g* viene immerso in amalgama di sodio riscaldato, ed una corrente è fatta passare nel senso dovuto fra l'amalgama e l'elettrodo *f*.

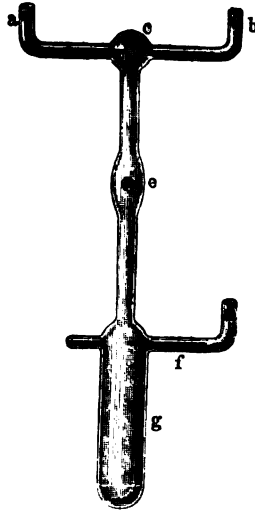



Fig. 76.

Quando si producono oscillazioni nel risonatore, nasce una minuscola scintilla fra gli elettrodi *a*, *b*, la quale, per così dire, accende tosto la brillantissima scarica degli accumulatori fra *c* ed *e*. L'effetto si attribuisce alla maggior conducibilità acquistata dal gas per opera degli elettroni generati dalla piccola scarica fra *a* e *b*.

10. il sig. Drude [28] modificò il metodo della pila e dell'elettroscopio spiegato nel n. 7 nel modo seguente. Le estre-

mità del risonatore, fra le quali deve formarsi la scintilla, sono costituite dai cilindretti d'alluminio *a* e *b* (fig. 76) del tubo di Zenhder. Una di esse comunica col suolo, l'altra col polo isolato della pila e coll'elettroscopio. Le oscillazioni nel risonatore determinano la scarica parziale dell'elettroscopio, il quale tosto si ricarica quando esse cessano. Gli elettrodi *c*, *e*, *f* del tubo potrebbero essere soppressi; in ogni modo non vengono adoperati.

11. Un indicatore d'onde, che può raggiungere una sensibilità grandissima, fu ideato da chi scrive [29]. In un piccolo tubo con aria rarefatta penetrano due fili di platino *ab*, *cd*, acuminati e piegati come mostra la fig. 77. Le punte *b* e *c* sono a distanza piccolissima dalla parte prospiciente dei fili, senza però che vi sia contatto. I due fili comunicano coi poli di una pila di Volta (rame, acqua di fonte, zinco) formata di un numero di coppie tale, che sia appena inferiore a quello, che sarebbe necessario per determinare il passaggio della corrente fra le punte e i fili. Due aste o striscie metalliche formanti un risonatore rettilineo possono prolungare i fili esternamente al tubo. Se delle onde determinano oscillazioni elettriche nel risonatore, immediatamente la corrente si stabilisce nel circuito della pila, ed un galvanometro che vi sia inserito devia.

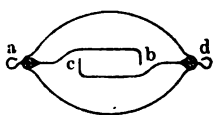



Fig. 77.

Questo indicatore può essere sostituito ai radioconduttori (vedi più sotto al n. 14) nella telegrafia senza filo, e la sua sensibilità, stando a quanto risultò al prof. Tuma [30], è paragonabile a quella di questi ultimi indicatori. Ha in confronto a questi il vantaggio, che al cessare delle onde esso torna, senza bisogno di urti, alle condizioni iniziali.

12. Dando al tubo dimensioni maggiori, e forme speciali agli elettrodi, pur conservando il vantaggio accennato or ora, si ottiene una forma d'indicatore, la quale permette anche di far a meno del galvanometro [31]. In uno di questi tubi sensibili

l'elottrodo positivo è un disco di alluminio, e quello negativo un grosso filo arrotondato della stessa sostanza. Quando non vi sono onde, il tubo resta quasi completamente oscuro, giacchè non si vede che una leggera luminosità sul disco, come mostra la parte superiore della fig. 78, riproduzione di una fotografia.

Fig. 78.

Quando invece giungono delle onde, si forma sul disco una colonna luminosa vivace, spesso divisa in più strati, come mostra la parte inferiore della stessa figura, mentre il grosso filo si riveste del bagliore caratteristico negativo.

13. Il sig. Prech [32] ha ottenuto un fenomeno simile a quello del numero precedente, quantunque assai meno visibile, senza adoperare tubo a gas rarefatto. Due elettrodi, uno accuminato e l'altro sferico comunicano con una macchina elettrica in azione, le condizioni sperimentali essendo tali, che sulla punta si forma il pennacchio, mentre si formerebbe invece fra gli elettrodi una scintilla, per poco che si diminuisse la loro distanza.

Si riconosce che esiste il voluto grado di sensibilità dal fatto, che il più leggero soffio fa apparire le scintille. In tale stato di cose la piccola scintilla d'un risonatore posto presso il catodo determina quel cambiamento nel regime di scarica. Si può, più semplicemente, applicare la punta e la sfera alle due metà del risonatore rettilineo.

14. Il più sensibile fra gli indicatori di onde elettriche sembra essere quello chiamato *coherer* dal prof. Lodge e *radioconduttore* dal prof. Branly, basato sul fenomeno osservato già dal prof. Calzecchi Onesti [33], e da altri, della conducibilità elettrica, che assume in certe circostanze una polvere metallica. Se questa è contenuta fra due elettrodi metallici in un tubetto isolante, e viene inserita in un circuito contenente una pila ed un galvanometro, ogni perturbazione elettrica anche debolissima prodotta a distanza, per esempio per mezzo d'una scarica oscillante, determina una improvvisa diminuzione nella resistenza opposta dalla polvere alla corrente, e quindi una deviazione nel galvanometro. Un urto dato al tubetto o al suo sostegno vale a ristabilire la resistenza primitiva, e a mettere così la polvere in grado d'accusare l'arrivo di una nuova onda elettromagnetica. In questi ultimi anni questo strumento è stato oggetto di numerosissimi studi, che ne hanno messo in evidenza le singolari proprietà; perciò si è dovuto ad esso dedicare un capitolo speciale di questo libro (cap. III di questa Seconda Parte). Passerò dunque agli altri indicatori d'onde conosciuti, i quali, all'infuori del primo, pel quale il caso è dubbio, agiscono senza che le oscillazioni producano scintille.

15. Il sig. Neugschwender [34] forma un indicatore di onde elettriche nel modo seguente. In un risonatore rettilineo, come quello dell'Autore descritto al n. 2, si ristabilisce la comunicazione fra le due metà dello stato metallico, mediante uno strato liquido sottile. Quando si producono le oscillazioni per risonanza, aumenta momentaneamente la resistenza opposta dal liquido ad

una corrente elettrica passante attraverso di esso, ciò che produce una diminuzione nell'intensità della corrente stessa. Non è ancora ben chiara la spiegazione di simile fenomeno.

16. Il sig. Ritter [35] mise a contribuzione una rana preparata alla Galvani, perchè indicasse le onde. Basta perciò disporla in modo, che un suo nervo lombare faccia parte del risonatore.

17. Il sig. Gregory [36] trae partito dalla dilatazione prodotta dal calore, che sviluppano nel risonatore le oscillazioni di risonanza. Con mezzi delicati si riesce a rendere sensibile tale dilatazione anche quando sia estremamente piccola.

18. Il calore prodotto dalle oscillazioni elettriche del risonatore venne utilizzato a produrre correnti termoelettriche dal sig. Klemencic [37] e da altri. Si ottenne così un indicatore di onde, che in pari tempo può misurarne l'intensità. Il risonatore consta di due striscie metalliche, delle quali la fig. 79 mostra le estremità avvicinate e arrotondate, alle quali sono saldati un filo *as* ed un filo *bs'*, di differenti metalli. Questi due fili, dopo essersi incrociati, vengono collegati mercè fili di rame ad un galvanometro sensibile. Pel calore svolto dalle oscillazioni si riscaldano i due fili nel punto di contatto, donde una corrente termoelettrica, che il galvanometro misura.

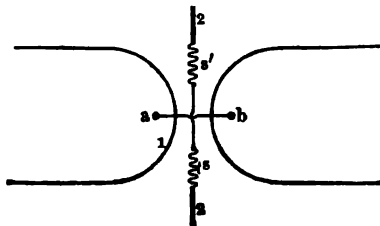



Fig. 79.

Il sig. Lebedew ricorse ad un'analoga disposizione, per avere un indicatore adatto al suo piccolo oscillatore. Più recentemente e per lo stesso scopo il sig. Pierce [38] adottò più fedelmente la disposizione di Klemencic pei suoi risonatori.

19. Un indicatore d'onde, che diede buoni risultati anche per la telegrafia in grazia della sua notevole sensibilità, è quello inventato dal sig. Rutherford [39]. Una parte del filo costituente il risonatore è avvolta ad elica intorno ad un ago d'acciaio

calamitato. Le oscillazioni elettriche modificano la calamitazione dell'ago, e questa modificazione può essere resa visibile dalle deviazioni d'un vicino ago sospeso e munito di specchio, come quello d'un galvanometro.

20. Se le due estremità interne dei conduttori formanti un risonatore rettilineo sono collegate a due conduttori vicini, uno dei quali sia mobile, l'attrazione, che fra questi conduttori si produce, allorchè esistono le oscillazioni, darà luogo ad una deviazione del conduttore mobile, che servirà a misurare le onde producenti la risonanza. Indicatori di questa specie furono adoperati dal sig. Blyth [40], dal sig. Bjerknes [41] e da altri. Poichè fra le due metà del risonatore non arriva in tal caso a formarsi una scintilla, così sembra che in realtà le due metà del risonatore costituiscano due risonatori distinti.

21. Secondo il sig. Aschkinass [42] un reticolo formato con sottile foglia di stagno diminuisce di resistenza sotto l'azione delle onde elettromagnetiche, donde la costruzione d'un indicatore speciale, che fu studiato anche dal sig. Mizuno.

22. Un ultimo indicatore di onde è quello proposto dal prof. Minchin [43]. Questo fisico ebbe già a costruire certe coppie voltaiche, le quali sono sensibili alla luce, tali cioè che varia la intensità della corrente da esse prodotte quando vengono opportunamente illuminate. Col tempo queste coppie perdono la loro sensibilità, ma la riacquistano quando vengano investite dalle onde elettromagnetiche. Sembra tuttavia, che l'esistenza di qualche contatto imperfetto sia la causa di tale fenomeno, per cui l'indicatore d'onde di Minchin si ridurrebbe ad un radioconduttore.

Come si vede, sono assai numerosi i metodi, ai quali si può ricorrere per svelare l'esistenza delle onde elettromagnetiche; e se pochi di essi sono finora entrati nella pratica, e forse anzi uno solo, è bene non perdere di vista gli altri, che possono riescire utili in casi speciali e che possono venire perfezionati in avvenire.

34. La segnalazione a distanza per mezzo delle onde hertziane. — Lo studio dei metodi atti a produrre segnali a grande distanza per mezzo delle onde elettromagnetiche costituisce lo scopo principale di questo libro, e ad una diffusa trattazione di esso è dedicata la Parte Terza. Nel presente paragrafo si daranno solo alcune nozioni generali, intimamente connesse colla propagazione delle onde e cogli apparati destinati a produrle e rivelarle, cioè cogli argomenti trattati nei precedenti paragrafi del presente Capitolo.

Ciò che a prima giunta differenzia gli apparecchi per la telegrafia senza filo da quelli usuali, adoperati nelle ricerche di laboratorio per studiare le onde elettromagnetiche, è la dissimetria dell'oscillatore e dell'indicatore delle onde. A questo è congiunto un lungo filo verticale, ed uno simile è congiunto all'oscillatore. Questi conduttori, chiamati le *antenne*, sono necessari, quando si vogliono ottenere effetti a notevoli distanze, mentre si può farne a meno per distanze piccole, per esempio quando si tratti solo di far agire le onde da un ambiente ad un altro d'uno stesso edificio. Esperienze di questo genere furono pubblicate dal prof. Lodge nel 1889 [44]. Facendo agire in una vasta galleria un grande oscillatore di Hertz, la cui lunghezza d'onda era calcolata in circa 29 metri, tutti i conduttori circostanti, come pure quelli posti in altri ambienti, erano sede di fenomeni elettrici oscillatorii, sì che bastava accostare ad uno di essi, per esempio un tubo del gas o dell'acqua ecc., un conduttore tenuto a mano o la nocca del dito, per trarne delle scintille. Inoltre, delle scintille scoccavano, ovunque due conduttori erano abbastanza avvicinati, ed era possibile accender in tal modo a distanza una lampada ad arco senza metterne in contatto i carboni. Un indicatore sensibile, come sarebbe il radioconduttore, renderà manifeste le onde anche a distanze maggiori.

L'uso delle antenne nella trasmissione di segnali a grandi distanze trae forse la sua origine da esperienze fatte da un

certo Mahlon Loomis [45], il quale, per certi suoi tentativi di telegrafia senza filo adoperò appunto dei lunghi fili conduttori sollevati da cervi volanti. Tuttavia queste esperienze, che non diedero nessun buon risultato, non sono generalmente conosciute, nè meritano di esserlo. Non può dirsi altrettanto delle esperienze fatte dal prof. Popoff, il quale, come si dirà più oltre, prima di pensare alla trasmissione di segnali, applicò il radioconduttore allo studio dell'elettricità atmosferica. Egli dovette perciò appunto collegare all'apparecchio indicatore un lungo filo metallico liberamente esposto all'atmosfera, onde raccogliere meglio l'effetto delle scariche temporalesche lontane.

L'oscillatore per molto tempo adottato dal Marconi non è che l'oscillatore a tre scintille, l'intermedia delle quali spesso si fa scoccare in un liquido isolante; l'oscillatore stesso è poi il più delle volte congiunto ad un lungo conduttore verticale, cioè all'antenna. Per giungere a spiegare l'ufficio di questa cominceremo dal sup-

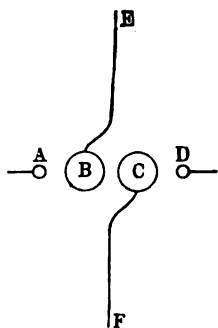
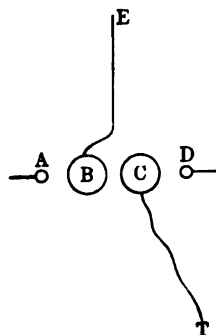



Fig. 80. Fig. 81.

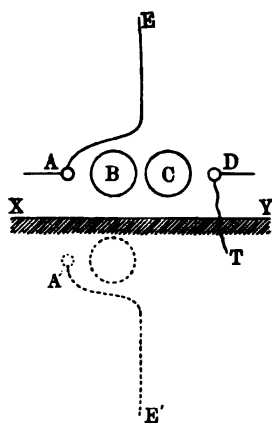
porre che alle sfere B, C (fig. 80) d'un oscillatore, come per esempio quello della fig. 68, si applichino due antenne BC, CF poste l'una sul prolungamento dell'altra. È indubitato, che in tal modo si viene a costituire un nuovo oscillatore formato dai due conduttori BE, CF, capace di produrre onde più lunghe di quelle che sarebbero prodotte dal sistema delle semplici sfere B,

C, giacchè per l'aggiunta dei fili si aumenta in pari tempo l'autoinduzione e la capacità del sistema stesso. Come in ogni oscillatore rettilineo, E ed F, saranno ventri per le oscillazioni di potenziale, ed in BC, ove si forma la scintilla, si avrà un nodo. Ed infatti si è visto nel § 32, che ogni metà dell'oscillatore ha un comportamento simile a quello d'un tubo sonoro chiuso, il quale presenta appunto un nodo ad un estremo e un ventre all'altro.

È naturale allora il pensare, che sopprimendo l'antenna CF e sostituendola con una comunicazione col suolo T (fig. 81), la metà restante BE dell'oscillatore seguiti a comportarsi nella stessa maniera. Se poi, invece di congiungere l'antenna alla sfera B, la si congiunge colla pallina A, che comunica con uno dei poli della sorgente elettrica (macchina elettrica o rocchetto d'induzione), ed invece di mettere in comunicazione col suolo la sfera C si mette a terra la pallina D, che comunica coll'altro polo della sorgente suddetta, l'oscillatore assume l'aspetto di quello della fig. 82. Orbene, sembra verosimile, che le oscillazioni elettriche dell'antenna si compiano ora nella stessa maniera, come quando essa comunicava colla sfera B, e che la scintilla, che si forma fra A e B, simultaneamente a quelle fra B e C e fra C e D, prolunghi virtualmente sino a B l'antenna stessa.

Fig. 82.

La disposizione della fig. 82 è quella che fu adottata dal giovane inventore bolognese Marconi, quando ebbe la fortunata idea di eseguire su grande scala l'esperienza delle onde elettriche, per applicarla a produrre segnali a distanza.

Or non è molto il signor Tissot [46] in Francia ha trovato, che la disposizione della fig. 81 è non meno conveniente di quella

della fig. 82; ciò che conferma la equivalenza delle due disposizioni suddette.

Le onde sono dunque generate dall' antenna, nel modo stesso che, nelle esperienze di laboratorio, lo sono da ognuna delle due metà d' un oscillatore rettilineo. Ciò rimane confermato da esperienze fatte dal signor Lindemann [47]; il quale trovò, che un oscillatore del tipo fig. 81 o 82 emette onde, il cui periodo è quello che compete all' antenna, quantunque a tali onde se ne sovrappongano altre assai più corte dovute alle oscillazioni del sistema delle due sfere B e C.

L' antenna suole collocarsi verticalmente o quasi, ed è disponendola così, che si ottengono i migliori risultati. Ecco come si può render conto di questo fatto, tante volte constatato.

Le onde generate dall' antenna si riflettono sul suolo o sul mare, a seconda dei casi, e le onde riflesse si compongono colle onde dirette. È noto infatti, che le onde elettromagnetiche si riflettono come le onde luminose, sia sui corpi conduttori, sia sui corpi isolanti. Orbene, le onde emesse dall' antenna e riflesse dal sottoposto suolo orizzontale (fig. 82) si comportano, come se provenissero da un' antenna A'E' simmetrica ed eguale alla AE, le cui cariche fossero ad ogni istante di segno contrario a quelle dell' antenna reale, e cioè come se provenissero dalla seconda antenna CE della fig. 80 formante colla AE un oscillatore completo.

Se invece l' antenna AE è orizzontale (fig. 83), le onde riflesse avranno un comportamento, quale si potrebbe attribuire ad una antenna A'E', simmetrica ad AE, le cui cariche fossero anche in questo caso ad ogni istante opposte a quelle della AE. È facile comprendere, che l' azione di A'E' è in opposizione con quella di AE, come apparirà meglio del resto da una delle esperienze di riflessione del seguente §.

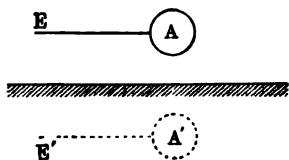



Fig. 83.

In tal maniera si può spiegare l'azione delle antenne e la maggiore efficacia, che esse presentano, allorchè sono verticali. Considerazioni in parte analoghe valgono per l'antenna, che, nella stazione ove si ricevono i segnali, viene connessa al radioconduttore.

La spiegazione esposta rappresenta una opinione personale, che non è ancora divisa da tutti. Si sono fatte ad essa delle obbiezioni e si sono proposte spiegazioni differenti.

Si è obbiettato, per esempio, che dovrebbe essere possibile sostituire all'antenna un conduttore più breve, ma più ampio, in modo da trasformare il sistema trasmettitore in un oscillatore ordinario, senza perciò diminuirne l'efficacia; ma non si è forse riflettuto, che l'energia irradiata per ogni oscillazione da un oscillatore dipende dalla sua forma, e che sopra tutto da questa dipende l'azione prodotta dalle onde ad una determinata distanza.

La lunga antenna della stazione ricevente è dal canto suo meglio adatta di un conduttore largo e corto a raccogliere nello spazio l'energia delle onde in arrivo.

Alcune delle spiegazioni date dell'azione dovuta alle antenne non meritano d'essere richiamate, perchè contraddette da fatti ben stabiliti. Tale è il caso di quelle basate sull'ipotesi, che il periodo oscillatorio delle onde emesse sia quello del sistema formato dalle due sfere, fra le quali scocca la scintilla centrale, essendo certo ormai, come si è detto, che il periodo delle onde utilizzate nella telegrafia è quello che spetta sopra tutto all'antenna, e quindi di gran lunga maggiore.

Alcuni hanno voluto fondare una spiegazione dell'efficacia posseduta dalla antenna del sistema trasmettitore sul principio del Poynting, relativo alla propagazione dell'energia in direzione perpendicolare alla forza elettrica ed alla forza magnetica. La prima di queste forze, essi pensano, è perpendicolare all'antenna, e l'altra lo è a questa ed alla forza elettrica, per cui

l' energia della scarica oscillante si propagherà parallelamente all' antenna sino alla sua estremità, ove si espanderà orizzontalmente, per la ragione, che la forza magnetica cessa colà d' avere una determinata direzione. Ma si può osservare, che nell' antenna esiste una oscillazione elettrica, e non già la propagazione di oscillazioni o di correnti elettriche.

Altri farebbero intervenire la conducibilità del suolo in massa, o dei diversi strati geologici di cui è formato; altri ancora la conducibilità degli alti strati dell' atmosfera, attribuendo così alla propagazione delle onde attraverso tutta l' atmosfera una parte secondaria. E opinione di chi scrive che in ogni caso, quand' anche si dimostri che ai fenomeni prendono parte e il suolo e gli strati superiori dell' atmosfera, è principalmente alle onde elettromagnetiche liberamente propagate intorno all' antenna, considerata come oscillatore, che si devono gli effetti ottenuti a distanza, effetti i quali, come per qualsiasi oscillatore rettilineo, sono più intensi nel piano di simmetria dell' oscillatore che nelle direzioni obblique, e crescono insieme alla lunghezza del conduttore, in cui hanno sede le oscillazioni generatrici.

Nelle incertezze inerenti alle prime prove di telegrafia senza filo, nelle quali si procedette necessariamente a tentativi, si divulgarono intorno alle prove stesse ed ai mezzi adoperati delle opinioni assai strane, e si arrivò persino a supporre, che le onde utilizzate in quelle esperienze, non fossero le note onde hertziane, ma onde di nuova specie. Uno dei motivi, pei quali si accreditava tale assurda credenza, era questo, e cioè, che la trasmissione poteva aver luogo, anche quando una serie di grandi fabbricati oppure una collina si trovava fra le due stazioni. Ma non bisogna dimenticare, che la propagazione rettilinea della stessa luce non è vera che in via d' approssimazione, e che basta osservare ciò che accade con corpi luminosi e con diaframmi piccolissimi, per verificare, che la luce in certo modo contorna gli ostacoli. È in ciò che consistono i fenomeni detti di *diffra-*

zione. Se si deve ricorrere a oggetti piccolissimi, è perchè le onde luminose sono brevissime; la loro lunghezza non è infatti che di qualche decimillesimo di millimetro soltanto.

Nel caso delle onde sonore è già più difficile constatare la propagazione rettilinea che la diffrazione, e si tratta di onde la cui lunghezza varia da pochi millimetri sino ad una ventina di metri. Ora è indubitato, che le lunghezze d'onda, adottate nella telegrafia senza filo a grande distanza, sono di gran lunga maggiori. Perciò non deve sorprendere il fatto, che una elevazione anche notevole del suolo non valga sempre a intercettare le comunicazioni. Per lo stesso motivo non si può ammettere, come alcuni credono, che sia impossibile la trasmissione a distanze così grandi, che da una delle due stazioni non si possa veder l'altra in causa della sfericità del globo, come è il caso dei tentativi recenti fatti dal Marconi attraverso l'Atlantico; tanto che si può augurare che nessun'altra difficoltà si presenti, oltre alla rotondità della terra, alla riescita finale, e che presto o tardi la telegrafia senza filo stabilisca una nuova e sicura comunicazione fra il vecchio ed il nuovo continente.

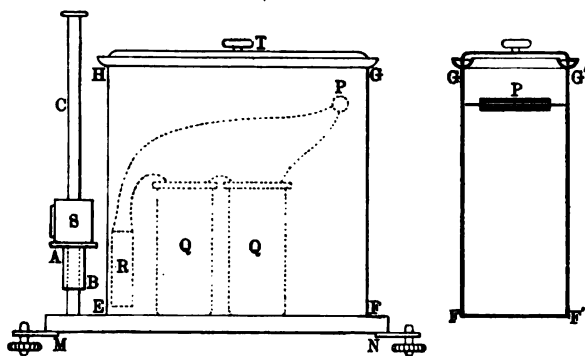



Fig. 84.

Un'altra erronea opinione ebbe corso, quella cioè che le onde elettromagnetiche potessero agire su corpi completamente circondati da un grosso strato metallico, facendo nascere il timore,

che le onde potessero eccitare scintille per risonanza, e la susseguente esplosione dei depositi delle polveri esplosive delle navi o della terra ferma, quand'anche tali polveri fossero contenute in casse metalliche, o in ambienti corazzati. Chi scrive, servendosi dell'apparecchio della fig. 84, potè invece dimostrare, che in uno spazio, circondato con continuità da materia dotata di grande conducibilità elettrica, non penetra la minima azione delle onde elettromagnetiche [48]. EFGH è una cassetta di rame, FGG'F' la stessa vista di fianco. Essa contiene una pila QQ, un rocchetto da galvanometro R ed un radioconduttore sensibilissimo P, formanti un unico circuito. Fuori dalla cassetta sta la parte centrale BAC d'un galvanometro, il cui ago subisce l'azione della corrente che circola nel rocchetto R. Le minime deviazioni dell'ago si osservano col metodo noto della riflessione per mezzo d'uno specchietto connesso all'ago e contenuto in S. Infine la scatola ha un coperchio di rame T, l'orlo del quale, previamente amalgamato, entra in un canaletto contenente mercurio. Con questa disposizione è assicurata la continuità metallica della scatola. Facendo agire un oscillatore potentissimo posto a piccola distanza dalla scatola non si riesce ad eccitare il radioconduttore. Basta però socchiudere la scatola, o semplicemente sopprimere il mercurio, in guisa che la comunicazione fra essa ed il coperchio non sia più ovunque perfetta, perchè alla prima scintilla dell'oscillatore il tubetto P divenga conduttore e l'ago del galvanometro devii fortemente.

Per esprimere il risultato dell'ultima esperienza si sarebbe tentati di dire, che le onde *passano* per fenditure ristrette; ed è così diffatti che il fenomeno è stato descritto da qualche fisico, il quale ha studiato l'effetto d'un diaframma metallico munito di un'apertura e collocato fra un oscillatore ed un indicatore di onde.

Ma, secondo lo scrivente, il fenomeno si compie in altra maniera. Le onde eccitano delle oscillazioni elettriche in ogni con-

duttore. Se questo è chiuso perfettamente, l'azione sui punti interni dovuta a queste oscillazioni è esattamente tale da compensare l'azione diretta delle onde; se la continuità non esiste fra le varie parti formanti l'involucro, in queste parti si formano delle oscillazioni elettriche distinte e separate, e la compensazione suddetta cessa di aver luogo.

A completare queste indicazioni relative all'applicazione delle onde elettromagnetiche, bisogna accennare alle modificazioni introdotte recentemente dagli inventori agli apparati trasmettitori e a quelli ricevitori, allo scopo di diminuire o possibilmente togliere un inconveniente gravissimo inerente a questo metodo di segnalazione.

Si può paragonare la trasmissione a distanza colle onde alla segnalazione acustica. L'emissione di un potentissimo suono, come quelli adoperati lungo le coste in tempi di nebbia, è ascoltata da chiunque si trovi a distanza non troppo grande, purchè non sia privo dell'organo uditivo: del pari chiunque, che non sia privo d'una antenna e del relativo indicatore di onde, e non sia troppo lontano, è in grado di raccogliere i segnali e di interpretarli. Sembra dunque a prima giunta, che sia impossibile il mantenere il segreto delle trasmissioni, ciò che in certi casi può costituire un gravissimo inconveniente. All'epoca dei primi tentativi si credeva falsamente dai pratici, che l'antenna ricevente costituisse un vero risonatore, e che perciò non si potessero ricevere i segnali che a patto di possedere un'antenna ricevente di determinata lunghezza. Ma si riconobbe, che questo non è, e che quasi a colpo sicuro ogni stazione ricevente improvvisata può essere in grado di ricevere le comunicazioni, che una stazione trasmettitrice destina ad altri.

È già noto che la rigorosa sintonia, ossia l'eguaglianza esatta dei periodi oscillatori, è ben lungi dall'essere richiesta, perchè si compia il fenomeno della risonanza, e già si disse, che possono rispondere ad un dato oscillatore dei risonatori di periodi

tanto più differenti, quanto più rapido è lo smorzamento delle sue oscillazioni. Ora l'oscillatore ad antenna, mentre ha il vantaggio della maggior portata, presenta un grandissimo smorzamento.

D'altra parte sembra dal complesso dei fatti, che un radioconduttore funzioni, anche senza che nel circuito in cui si trova nascano vere oscillazioni stazionarie. Ognuno che abbia eseguita qualcuna delle facilissime esperienze, a cui questo utile strumento si presta, si sarà certo accorto, che esso si comporta sensibilmente nella stessa maniera, qualunque forma o grandezza abbia il circuito in cui è collocato. Sembra dunque che il radioconduttore acquisti conducibilità elettrica al primo giungere d'una perturbazione elettromagnetica, indipendentemente dalla periodicità, che essa può possedere. Ciò non toglie però ogni speranza di giungere a sistemare le cose in modo, che solo delle onde, il cui periodo sia compreso fra certi limiti, riescano efficaci.

Gli sforzi degli inventori sono dunque ora rivolti a realizzare la sintonia, cioè a far sì, che i segnali emessi da una stazione non possano essere raccolti che da un'altra determinata, la quale possieda apparecchi ricevitori aventi un periodo oscillatorio identico a quello della stazione trasmettitrice. Se si raggiungerà questo risultato ideale, non resterà, a chi volesse raccogliere segnali a lui non diretti, che variare a tentativi il periodo d'oscillazione della propria antenna ricevente, sino a raggiungere lo scopo. Fino a qual punto il Marconi, il prof. Slaby ed altri vi si sieno avvicinati rileverà il lettore nella Parte Terza. Qui basterà accennare soltanto ai principî scientifici delle modificazioni introdotte nella forma primitiva degli apparecchi trasmettitori e riceventi, nell'intento di realizzare la desiderata sintonia.

Com'è naturale, dopo quanto fu ripetutamente detto, sarà bene abbandonare la forma rettilinea dell'antenna, e far in modo di aumentare la sua autoinduzione. Il prof. Lodge, guidato

da questo concetto, costruì degli oscillatori formati da due lastre metalliche, collegate con un filo interrotto per la scintilla, ed in parte piegato in forma di elica a più spire. Un risonatore di forma eguale rispondeva bene a quell'oscillatore, mentre un altro, da quello abbastanza differente per grandezza o numero di spire, non rispondeva affatto. Si raggiunse così fino ad un certo grado la sintonia; ma in compenso la portata era piccola, e cioè la massima distanza alla quale il risonatore sentiva l'azione delle onde era assai minore di quella ottenuta con risonatore ed oscillatore rettilinei.

Qualche cosa di simile si è fatto negli apparati destinati alla telegrafia, e cioè a ciascuna delle antenne si è riunito inferiormente un filo piegato ad elica; basta allora includere nell'oscillatore un numero più o meno grande di spire, per modificarne a piacere entro certi limiti il periodo d'oscillazione. Inoltre si è anche soppressa la scintilla dell'oscillatore, eccitando poi le oscillazioni per induzione. In tal caso l'antenna comunica inferiormente con un capo del filo ad elica, mentre un punto di questa, che può mutarsi per variare il periodo, è messo in comunicazione col suolo. Una seconda elica, che circonda parte della prima o ne è circondata, e disposta in modo che le due eliche formino una specie di trasformatore, è percorsa dalla scarica oscillante dell'oscillatore, di cui è parte. Questo oscillatore suol comprendere un vero condensatore, con che il periodo di oscillazione risulta assai grande. Analoghe modificazioni si sono introdotte negli apparati riceventi, giacchè anche qui si è fatto agire l'antenna sul circuito del radioconduttore coll'intervento dell'induzione fra due circuiti. Infine, si sono introdotte nelle comunicazioni delle eliche di filo metallico, affinchè colla loro autoinduzione si opponessero alla propagazione delle onde, là ove queste possono provocare azioni disturbatrici.

Come si vede i principî scientifici, su cui queste varie disposizioni sono basate, sono assai semplici. Quanto ai dettagli rela-

tivi, e ai risultati che se ne sono ottenuti, si rimanda il lettore alla Parte Terza di questo libro.

35. **L'Ottica delle oscillazioni elettriche.** — Dalle esperienze di Hertz, riassunte nel § 30, risulta la piena conferma delle principali conseguenze, a cui conduce la moderna teoria dell'elettromagnetismo, e perciò esse rendono in pari tempo più verosimile ed accettabile il concetto, secondo il quale i fenomeni delle radiazioni luminose e calorifiche sarebbero della stessa natura dei fenomeni elettrici. La portata filosofica di questa grandiosa sintesi è evidente; perciò il presente capitolo apparirebbe in vero troppo incompleto, se non venisse chiuso con una esposizione rapida delle ricerche più recenti, dalle quali è emersa sempre più chiara l'analogia, o forse meglio l'identità, fra quei due ordini di fenomeni apparentemente tanto differenti. Il lettore, che amasse conoscere dettagli ulteriori sull'argomento, potrà leggere un libro pubblicato dall'autore di queste pagine, e che porta il titolo stesso del presente paragrafo [49].

Per spiegare i fenomeni della luce e del calore si ammise l'ipotesi ondulatoria dovuta principalmente a Fresnel, secondo la quale la causa prima di quei fenomeni consiste nelle vibrazioni delle particelle ultime dei corpi, e dell'etere universale che le circonda. Tali vibrazioni generano nell'etere stesso delle onde, press'a poco come le vibrazioni di uno strumento musicale generano delle onde sonore nell'aria che lo circonda. A parte l'enorme differenza che esiste fra le vibrazioni luminose nell'etere e quelle acustiche nell'aria, in quanto ai periodi di vibrazione ed alla velocità di propagazione, un'altra però bisogna ammetterne onde poter rendere conto dei fenomeni della luce *polarizzata.* Mentre le onde, che si propagano nell'aria, sono *longitudinali*, e cioè i moti vibratori si compiono nella direzione stessa della propagazione, le onde luminose sono invece *trasversali*, e cioè le vibrazioni si compiono perpendicolarmente alla direzione in cui si propagano. Perciò le onde luminose sono paragonabili,

piuttosto che alle onde sonore nell'aria, a quelle che si propagano lungo una corda tesa messa in oscillazione trasversalmente.

Lungo la corda le vibrazioni sono perpendicolari alla sua lunghezza; e se esse si compiono in modo che la corda rimanga in un piano, si ha l'imagine d'un raggio di luce *polarizzata.* Infatti, si spiegano i fenomeni della polarizzazione della luce ammettendo, che lungo un raggio polarizzato le vibrazioni dell'etere si compiano tutte in uno stesso piano, che si dirà piano delle vibrazioni, mentre si chiama *piano di polarizzazione* il piano passante pel raggio e perpendicolare al precedente. Nella luce ordinaria, ossia non polarizzata, le vibrazioni, pur rimanendo trasversali, non si fanno sempre in uno stesso piano, ma in direzioni variabili senza regola. Così si spiega, come un raggio di luce ordinaria abbia delle proprietà simmetriche intorno alla sua direzione, mentre un raggio di luce polarizzata mostra proprietà diverse nei vari piani per esso passanti.

La teoria elettromagnetica della luce considera le vibrazioni originarie come oscillazioni elettriche, e quindi le onde propagate nell'etere come onde elettromagnetiche simili a quelle emanate da un oscillatore; e la sola differenza essenziale fra le onde, che chiamansi luminose, e quelle che Hertz ha insegnato a produrre, consiste nel loro diverso periodo d'oscillazione. il quale è per le prime di gran lunga più piccolo che per le seconde. Ma basterebbe che un oscillatore di Hertz avesse dimensioni paragonabili a quelle che si attribuiscono agli atomi, perchè le onde da esso prodotte fossero capaci di produrre la sensazione della luce nel nostro organo della visione.

Ammesso che le vibrazioni luminose siano oscillazioni elettriche, le onde luminose non mettono più in giuoco l'elasticità dell'etere, ma bensì le forze elettriche e magnetiche che in esso possono prendere origine. In base alle esperienze, e in particolare a quelle della riflessione, si può asserire, che per passare dalla teoria di Fresnel alla teoria elettromagnetica basta far

corrispondere alla direzione delle vibrazioni quella della forza elettrica. Perciò se le onde sono polarizzate, e tali sono per loro natura le onde generate da un oscillatore rettilineo, il piano di polarizzazione sarà quello che è perpendicolare alla direzione che ha la forza elettrica nei vari punti della retta, lungo la quale si considera la propagazione delle onde.

Non è indispensabile il supporre che le vibrazioni, che producono la luce, consistano in scariche oscillanti prodotte negli atomi, considerati come piccolissimi oscillatori. Si dimostra infatti con calcoli [50], che qui non possono trovar luogo, che le onde elettromagnetiche generate da un oscillatore rettilineo, considerate a distanza grande in confronto delle sue dimensioni, sono identiche sotto ogni rapporto a quelle, che può generare una carica elettrica, la quale vibri con legge pendolare lungo l'asse dell'oscillatore stesso. In altre parole, se fosse possibile far vibrare un piccolo conduttore elettrizzato, con un periodo eguale a quello della scarica oscillante d'un oscillatore ordinario, si genererebbero onde elettromagnetiche identiche, se considerate a distanza non troppo piccola, alle ordinarie onde hertziane.

È dunque lecito supporre, che le onde luminose sieno onde elettromagnetiche generate dalle vibrazioni degli elettroni (§ 24).

Ma tutto ciò non avrebbe molto interesse, se l'esperienza mostrasse qualche differenza essenziale fra le onde elettromagnetiche e le onde luminose, all'infuori di quelle, che sono la naturale conseguenza della diversità di periodo vibratorio. Di qui l'importanza delle esperienze, di cui darò qui un breve cenno, le quali hanno messo in rilievo la perfetta analogia fra i due ordini di fenomeni. Esse consistono soprattutto in una riproduzione fedele dei principali fenomeni dell'Ottica, facendo uso di onde hertziane.

L'oscillatore rappresentato dalle fig. 67, 68, 69 e 70 si presta particolarmente bene per queste esperienze, e fu anzi creato per esse, come pure i risonatori, dei quali la fig. 74 mostra il modo

di costruzione. Gli apparati di media dimensione, coi quali si mettono in azione onde di circa 10 centimetri di lunghezza, sono i più convenienti. Quelli di dimensioni maggiori richiederebbero strumenti sussidiarii di dimensioni troppo grandi; quelli più piccoli presenterebbero minor sensibilità.

Ecco alcuni dei principali fenomeni realizzati colle onde elettromagnetiche di circa 10 centimetri di lunghezza.

a) *Interferenza*. Oltre all'esperienza delle onde stazionarie, realizzate già da Hertz (§ 30), si possono riprodurre colle onde elettromagnetiche le esperienze classiche del Fresnel, cioè l'interferenza coi due specchi, col biprisma, quella prodotta dalle lamine sottili etc. Quella, così detta, con un solo specchio, presenta uno speciale interesse. Sia AB (fig. 85) una lunga lastra piana di rame ed O un oscillatore rettilineo parallelo alla lastra. Il risonatore, parallelo all'oscillatore e posto in R poco lontano da AB, subirà in pari tempo l'azione diretta dell'oscillatore, e quella delle onde riflesse, le quali si possono considerare come provenienti da un oscillatore virtuale O', imagine di O, con opposta fase di vibrazione. Perciò presso il piano AB il risonatore non viene eccitato e cioè si ha interferenza. Nel caso in cui l'oscillatore O (fig. 86) sia disposto perpendicolarmente al piano riflettente, le fasi sono concordanti e gli effetti si sommano, cosicchè nel risonatore R posto in prossimità di AB, veggonsi vivaci scintille.

Fig. 85.

Fig. 86.

Il risultato di questa esperienza è simile a quello dell'esperienza di Fresnél; ma inoltre esso mostra come, in causa della riflessione sulla terra, sia nella telegrafia preferibile un'antenna verticale ad una orizzontale.

b) *Diffrazione.* — Le esperienze ottiche di diffrazione, per ottenere le quali occorre, come si disse, far uso di sorgenti luminose e di diaframmi o di aperture di dimensioni piccolissime, si riproducono con tutti i loro più caratteristici particolari adoperando le onde elettromagnetiche. Per esempio, se nell'esperienza ottica si ha una piccola sorgente luminosa ed un diaframma con una stretta fenditura o con un piccolo foro, può accadere che in un punto, posto sul prolugamento della retta che va dalla sorgente al foro, si abbia completa oscurità, contrariamente a quanto accadrebbe, se la propagazione rettilinea della luce fosse rigorosamente vera. Orbene, una fenditura in una lastra metallica posta davanti all'oscillatore può dare un risultato simile, e cioè lasciare inerte un risonatore, precisamente là ove a prima giunta si potrebbe credere che dovesse dare vive scintille. Se nell'esperienza ottica si varia gradatamente la grandezza del foro o la larghezza della fenditura, la luce subentra all'oscurità nel punto prima considerato, e poi di nuovo si ha oscurità e così di seguito. Del pari, se nell'esperienza elettromagnetica si varia la larghezza della fenditura, il risonatore mostra le alternative di massima e minima eccitazione.

c) *Riflessione.* — Non solo le onde elettromagnetiche si riflettono e si rifrangono nello stesso modo delle onde luminose e colle stesse leggi geometriche, come lo stesso Hertz ebbe a mostrare, ma la più perfetta analogia fra i due ordini di fenomeni continua a manifestarsi, allorchè si considerano le particolarità fisiche, anzichè quelle geometriche, dei fenomeni stessi.

Si sa, che quando un raggio di luce paralizzata AB (fig. 87), si riflette sopra un corpo trasparente ST, l'intensità del raggio riflesso BC è diversa a seconda del modo di polarizzazione. Per esempio, se il piano di polarizzazione è perpendicolare al piano d'incidenza

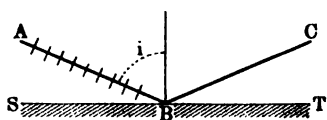



Fig. 87.

ABC (che è il piano formato dal raggio che arriva col raggio

riflesso), o in altre parole, se le vibrazioni sul raggio luminoso sono contenute nel piano d'incidenza, l'intensità del raggio riflesso BC diminuisce, quando si aumenta l'angolo di incidenza *i*, sinchè per un certo valore di questo angolo (che chiamasi poi angolo di polarizzazione) il raggio riflesso si spegne; cosicchè si ha il curioso fenomeno d'un raggio di luce, che cadendo su un corpo riflettente non viene più riflesso.

Orbene, colle onde elettromagnetiche si ottiene l'analogo risultato, e cioè non si ha più la riflessione per un certo angolo d'incidenza, allorchè l'oscillatore ha il suo asse di figura nel piano d'incidenza. È anzi su una tale esperienza, che si può considerare basata la corrispondenza ammessa fra vibrazione di Fresnel e forza elettrica sull'onda. Si poteva a priori supporre invece, che alla vibrazione di Fresnel corrispondesse la direzione della forza magnetica; ma come ora si vede tale ipotesi non corrisponde ai fatti.

L'angolo di polarizzazione nell'esperienza elettromagnetica risulta in generale più grande dell'angolo di polarizzazione nell'esperienza ottica fatta collo stesso corpo riflettente.

Qnesta non coincidenza numerica non menoma affatto l'analogia, che stiamo mettendo in evidenza; anzi era da prevedere, che i due angoli di polarizzazione dovessero risultare differenti.

Infatti, l'angolo di polarizzazione è differente per i differenti raggi colorati semplici costituenti la luce bianca, Ora, la differenza fisica fra i vari raggi dello spettro è semplicemente differenza di periodo; talchè può dirsi che la differenza che passa fra i raggi rossi e i raggi verdi dello spettro, è del genere di quella che passa fra un dato suono ed un altro suono più acuto. È naturale dunque che, come è diverso l'angolo di polarizzazione per vari raggi luminosi semplici, quest'angolo abbia un valore differente pei *raggi di forza elettrica*, per adoperare l'espressione di Hertz, se veramente essi non diversificano dai raggi luminosi che pel diverso periodo vibratorio.

Nel caso della esperienza sommariamente descritta, il periodo d' oscillazione è differentissimo da quelli dei raggi luminosi. Ed invero, se la lunghezza d' onda è 106 millimetri, il periodo è tale da corrispondere a quasi 3 miliardi d'oscillazioni al secondo, cioè ad un numero d'oscillazioni che si scrive ponendo a destra del 3 nove zeri. Per esprimere il numero di vibrazioni per secondo relativo ai raggi delle spettro, occorrono invece quattordici cifre.

d) *Rifrazione e riflessione totale.* La più completa analogia fra i fenomeni ottenuti colle onde luminose e colle onde hertziane seguita a constatarsi nei vari fenomeni di rifrazione, come pure in quello, che si chiama riflessione totale. Questo fenomeno merita di essere considerato in modo speciale.

S' imagini un raggio di luce che, propagandosi in un'acqua tranquilla, giunga obliquamente alla sua superficie. Se il raggio è non troppo obliquo, esso esce nell' aria prendendo, in virtù della rifrazione, una direzione nuova più prossima all'orizzontale. Ma se il raggio è quasi orizzontale entro l' acqua, giunto alla superficie esso più non si rifrange, e viene invece totalmente riflesso entro l' acqua medesima. In questo fenomeno della riflessione totale avvengono certe modificazioni delle vibrazioni luminose, ben note e da tempo studiate in ogni loro dettaglio, in virtù delle quali può accadere che, se il raggio incidente è polarizzato, il raggio totalmente riflesso assuma la polarizzazione *circolare* od *elittica*, e cioè divenga tale, che le vibrazioni lungo il raggio cessano di essere rettilinee per diventare elittiche o circolari. Si può avere una idea di vibrazioni di questo genere osservando un pendolo formato da un semplice filo flessibile portante un peso. Questo pendolo, non solo può assumere piccole oscillazioni sensibilmente rettilinee, ma, a seconda del modo di lanciarlo, può descrivere colle sue oscillazioni una delle curve nominate più sopra.

Orbene, chi scrive, non solo verificò colle onde elettromagnetiche la produzione della riflessione totale in genere, ma

potè ancora ottenere quella notevole trasformazione delle vibrazioni, cioè ottenere dei raggi di forza elettrica a vibrazioni circolari od elittiche, che nessuno degli oscillatori conosciuti può direttamente produrre.

Per ottenere direttamente delle onde elettromagnetiche simili a quelle modificate dalla riflessione totale nel modo descritto bisognerebbe, per esempio, far vibrare, secondo una elissi o secondo una circonferenza, una carica elettrica costante con tale rapidità da farle percorrere quasi tre miliardi di volte la curva in ogni minuto secondo.

e) *Doppia rifrazione*. È noto da gran tempo questo fenomeno interessante, in virtù del quale accade, che quando un raggio di luce penetra in certi corpi trasparenti, esso si sdoppia in due nuovi raggi aventi diverse direzioni. Questi due raggi hanno uguale intensità, se la luce adoperata è luce naturale, ma se è invece luce polarizzata, i due raggi rifratti hanno intensità diverse, e a seconda dell'orientazione delle vibrazioni del raggio incidente può darsi che l'uno o l'altro si spenga. I fenomeni ottici, ai quali la doppia rifrazione può dar luogo, sono interessantissimi e spesso brillantissimi, e sarebbe possibile scrivere su essi un grosso volume, senza dire tutto quanto di interessante ad essi si riferisce.

I corpi birefrangenti sono la maggior parte dei corpi cristallizzati, e quelli che, essendo d'origine organica, hanno una struttura speciale, che fa sì, che le proprietà loro sieno differenti nelle varie direzioni. Orbene, colle onde elettromagnetiche si sono potuti ottenere i fenomeni principali della doppia rifrazione, con modalità in tutto analoghe a quelle dei corrispondenti fenomeni ottici. Si riscontrarono bensì differenze quantitative fra i due ordini di fenomeni; ma, come si disse a proposito della riflessione, tali differenze più che infirmare il perfetto parallelismo fra i fenomeni stessi lo confermavano, giacchè esse dipendono dalla diversità dei periodi d'oscillazione. La selenite,

minerale assai comune, e che si trova facilmente in grandi cristalli, ha specialmente servito in queste ricerche, per le quali rimando il lettore all' opera citata.

Lo stesso motivo della diversità di periodo spiega, come di certi fenomeni ottici non si sieno constatati gli analoghi dovuti ad onde elettromagnetiche. Si può dire, che fin dove le verificazioni sperimentali hanno potuto arrivare, mai è stata smentita quell' identità di comportamento fra le onde luminose e le onde hertziane, nella quale trova la sua conferma la teoria elettromagnetica della luce.

A. Righi.

Citazioni bibliografiche.

1) A. Righi. Mem. della R. Accad. di Bologna, 5 serie, t. II, p. 261 (1892).
2) H. Hertz. Wied. Ann., t. 34, p. 155 (1888).
3) H. Hertz. Wied. Ann., t. 34, p. 610; t. 36, p. 769 (1888).
4) Sarasin et De la Rive. Archives etc. de Genève, t. 23, p. 113 (1890).
5) H. Hertz. Wied. Ann., t. 45, p. 553 (1892).
6) Lecher. Wied. Ann., t. 41, p. 850 (1890).
7) L. Arons. Wied. Ann., t. 45, p. 553 (1892).
8) A. Righi. Rend della R. Acc. di Bologna, 29 marzo 1898.
9) A. Righi. L'Ottica delle oscillazioni elettriche, Bologna, 1897, p. 13.
10) Blondlot. Comp. Rendus de l'Ac. des Sciences, t. 114, p. 283 (1892).
11) O. Lodge. Nature, t. 41, p. 462 (1890).
12) A. Righi. L'Ottica etc., p. 11.
13) A. Righi. L'Ottica etc., p. 12.
14) A. Righi. L'Ottica etc., p. 6.
15) A. Righi. Rend. della R. Acc. di Bologna, 29 marzo 1898.
16) Lebedew. Wied. Ann., t. 56, p. 1 (1895).
17) Pierce. Phil. Mag., t. 1, p. 179 (1901).
18) Kiebitz. Drude's Ann., t. 5, p. 872 (1901).
19) A. Righi. L'Ottica etc., p. 16 e seg.
20) Dragoumis. Nature, t. 39, p. 548 (1889).
21) Dragoumis. L. c.
22) Lucas and Garret. Phil. Mag., t. 33, p. 299 (1892).
23) Dragoumis. Zeit. für phys. u. chem. Unt. (1895).
24) L. Boltzmann. Wied. Ann., t. 40, p. 399 (1890).
25) Bikeland. Wied. Ann., t. 52, p. 486 (1894).
26) Turpain. Société des Sciences de Bordeaux, 1895 et 1897.
27) Zehnder. Wied. Ann., t. 47, p. 77 (1892).
28) Drude. Wied. Ann., t. 52, p. 499; t. 53, p. 753 (1894).
29) A. Righi. Rend. della R. Acc. dei Lincei, 7 novembre 1891.
30) Zeit. für Elekt. 23 Januar 1898.

31) A. Righi. Rend. della R. Acc. di Bologna, 29 maggio 1898.
32) Precht. Wied. Ann., t. 66, p. 1019. (1898).
33) Calzecchi Onesti. Il Nuovo Cimento, t. 16, p. 58 (1884); t. 17, p. 38 (1885).
34) Neugschwender. Wied. Ann., t. 67, p. 430, 842 (1899).
35) Ritter. Wied. Ann., t. 45, p. 53 (1890).
36) Gregory. Phil. Mag., t. 29, p. 54 (1890).
37) Klemencic. Wied. Ann., t. 42, p. 417 (1891).
38) Pierce. Phil. Mag., t. I, p. 179 (1901).
39) Rutherford. Proc. Roy. Soc., t. 60, p. 184 (1897).
40) Blyth. Electrician, t. 24, p. 442.
41) Bjerknes. Wied. Ann., t. 44, p. 74 (1891).
42) Aschkinass. Nature, t. 51, p. 228 (1895).
43) Minchin. Phil. Mag., t. 31, p. 207 (1891).
44) O. Lodge. Phil. Mag., t. 28, p. 48 (1889).
45) J. J. Fahie. A History of Wireless telegraphy, p. 73.
46) Turpain. Les applications pratiques des ondes électriques, p. 133.
47) Lindemann. Drude's Ann., t. 2, p. 376, 1900.
48) A. Righi. Rend. della R. Acc. dei Lincei, 1 agosto 1897.
49) A. Righi. L'Ottica etc. Bologna, 1897, pag. 75 e seg.
50) A. Righi. Livre Jubilaire dédié à H. A. Lorentz. La Haye, 1900, p. 348.

CAPITOLO III

I radioconduttori.

36. La resistenza dei contatti imperfetti. — Se i rivelatori delle onde elettriche, di cui ci siamo occupati nel § 33 del capitolo precedente, furono e sono largamente adoperati per gli scopi dell'indagine scientifica, tuttavia riguardo ai bisogni pratici della telegrafia senza filo stanno al disotto dei così detti *radioconduttori*. Come si è detto, questi non sono altro che sistemi di conduttori discontinui, ossia interrotti in uno o più punti da contatti imperfetti o da sottili strati coibenti. La resistenza, che simili sistemi presentano al passaggio di una corrente elettrica, varia in proporzione più o meno forte, quando essi vengano colpiti da onde elettriche; in certi casi la variazione è transitoria e sparisce non appena è cessata l'azione delle onde; in

altri casi essa persiste senza sensibile indebolimento, sinchè delle cause esterne non vengano a ristabilire le condizioni primitive. Diremo subito che, nonostante le numerose ricerche dedicate negli ultimi anni a questo fenomeno, così interessante tanto dal punto di vista scientifico quanto da quello delle sue applicazioni pratiche, la sua natura intima è ben lungi dall'essere interamente chiarita; nè ciò può recare meraviglia a chi considera la complessità dei fattori dai quali dipende, anche senza le perturbazioni alle quali possono dar luogo le onde elettriche, la conduttività elettrica, particolarmente nel caso di una sostanza conduttrice ridotta in granelli od in polvere fina.

È evidente anzitutto, che questa conduttività deve essere funzione dell'estensione delle superfici di contatto fra le singole particelle metalliche, ossia del numero e delle dimensioni delle particelle stesse. Vanno ricordate, a questo proposito, le ricerche di Calzecchi-Onesti sulla resistenza di limature metalliche pigiate fra due elettrodi entro un tubo di sostanza isolante. Egli trovò, che l'intensità della corrente, che passava fra questi elettrodi attraverso la limatura, non solo scemava col diminuire della quantità di quest'ultima ossia della sua *densità relativa,* indicando con questo nome il rapporto fra il peso della limatura contenuta tra gli elettrodi ed il peso di una massa compatta dello stesso metallo, che occupasse il medesimo spazio, ma che esisteva, almeno per alcuni metalli, un limite di questa densità, una cosidetta densità critica, al disotto della quale la limatura non dava più passaggio ad una corrente per quanto debole.

Questo risultato di Calzecchi-Onesti non è confermato da Auerbach, il quale nega l'esistenza di una densità critica. Secondo lui, la polvere o limatura metallica, che si trova fra i due elettrodi, dà passaggio alla corrente sinchè vi è continuità di contatti da un elettrodo all'altro, ed il risultato contrario di Calzecchi-Onesti si spiega col fatto, constatato da Auerbach,

che la resistenza della limatura, pur variando in modo continuo colla densità relativa del metallo, ossia colla pressione sotto la quale questo si trova pigiato fra gli elettrodi, al di sotto di un certo limite di questa pressione comincia a crescere in ragione più forte di prima.

Analogamente già Bidwell [3] aveva trovato, che la resistenza fra due cilindri di carbone, che si toccavano in un punto, diminuiva, quando si faceva crescere la pressione nel contatto, le variazioni essendo più forti per le pressioni piccole che per le grandi. Secondo Auerbach, vi sono due fasi, in ciascuna delle quali la resistenza varia proporzionalmente alla variazione della densità relativa, il fattore di proporzionalità essendo però maggiore per le densità piccole che per le grandi. Per meglio chiarire questo punto giova ricorrere alla rappresentazione grafica, e cioè costruire la curva, che ha per ascisse la densità relativa e per ordinate la resistenza. Tale curva appare composta di due tratti rettilinei, congiunti con un tratto continuo in vicinanza della densità critica di Calzecchi-Onesti. Questa forma della curva fa supporre, che la resistenza fra le particelle della limatura o fra contatti metallici in genere dipenda da due cause diverse; ed infatti A. Meyer [4], mediante misure fatte a questo scopo, trovò, che la resistenza fra due sfere d'acciaio messe in contatto sotto una pressione variabile, oltre ad essere inversamente proporzionale all'estensione delle superfici di contatto, diminuiva in ragione diretta della pressione esercitata in ciascun punto. La variazione della resistenza colla pressione diventa così un fenomeno complesso, nel quale forse avranno una parte preponderante le condizioni del dielettrico e degli strati superficiali frapposti ai conduttori in contatto.

Le variazioni di resistenza, che accompagnano ogni benchè minima variazione della pressione nel contatto fra diversi conduttori, hanno trovato delle applicazioni pratiche nel microtasimetro di Edison [5], strumento destinato alla misura di piccolis-

sime variazioni di lunghezza, nella costruzione, dovuta allo stesso inventore e ripresa in seguito da Engelmann e da Krebs [6], di resistenze aggiustabili di grafite o carbone, e soprattutto nel microfono basato, come è noto, esso pure sulle variazioni transitorie, che subisce la resistenza di contatti di carbone, quando sono soggetti all'influenza di onde sonore.

In modo analogo ad una compressione agisce pure un aumento di temperatura. Infatti, la diminuzione, che, secondo Beetz [7], subisce per un aumento di temperatura la resistenza delle limature metalliche, si spiega, qualora si consideri che, se la conduttività delle singole particelle metalliche, come è noto, diminuisce coll'aumento della temperatura, la dilatazione invece ne rende più intimi i contatti, facilitando il passaggio della corrente da una particella all'altra. L'anomalia, osservata da Du Moncel [8], per la quale in certi casi il primo effetto del riscaldamento consiste in un aumento della resistenza, al quale soltanto un ulteriore aumento di temperatura fa seguire il comportamento normale, ha per causa la sparizione del velo d'umidità, il quale prima metteva in migliore comunicazione fra loro le particelle metalliche.

In gran parte però la resistenza nei contatti, almeno fra metalli, è certamente dovuta allo strato gassoso aderente alle superfici in contatto. Questo fatto è messo in rilievo dalle esperienze di Vicentini [9], il quale, ponendo in contatto fra di loro delle superfici di rame o di platino levigate, sia senz'altra preparazione all'infuori del pulimento, sia dopo averle tenute per un certo tempo nell'aria o in altri gas od infine nel vuoto, trovò i contatti fra i metalli levigati di recente quasi privi di resistenza. Questa comincia a manifestarsi e può raggiungere dei valori elevati se i metalli nei punti di contatto siano circondati da una atmosfera gassosa; facendo poi il vuoto la resistenza torna a sparire, purchè le superfici in contatto non abbiano subito una modificazione chimica.

Si riscontrano però delle irregolarità, di cui sarebbe difficile assegnare la causa. Secondo Branly [10], delle colonne, costituite da dischi piani e ben levigati di un medesimo metallo, sarebbero quasi prive di resistenza, se formate col rame. coll'ottone o collo zinco, mentre col piombo, coll'alluminio, col bismuto e col ferro si avrebbero delle resistenze diverse secondo la natura del metallo e crescenti alquanto col tempo. Più elevate ancora sono queste resistenze sin drapprincipio se i dischi, invece di averli appoggiati lentamente, si siano lasciati cadere con una certa violenza l'uno sull'altro. Tuttavia queste osservazioni non sono confermate da altri autori.

Risultati analoghi a quelli trovati da Vicentini ottenne il Dorn [11] con limature. La resistenza delle limature di platino, di argento e di nichel, piccola in tutti i casi, è minore nel vuoto che nell'aria; quella del rame e dello zinco è piccola quando si tratta di superfici fresche, e soltanto dopo un certo tempo raggiunge valori considerevoli. Però l'ostacolo principale, che la corrente incontra nel passaggio fra metalli ossidabili, è dovuta, secondo il Dorn, agli strati d'ossidi, di carbonati ecc. che quasi sempre coprono la superficie di questi metalli. La limatura d'alluminio p. e. presenta una forte resistenza, la quale persiste quando la limatura venga riscaldata nel vuoto; infatti l'ossido d'alluminio non è modificato dal calore, e disseccato conduce ancora meno del suo idrato. È vero che, d'altra parte, la resistenza della limatura di nichel, di ferro, di rame e di zinco, in seguito ad un riscaldamento nel vuoto si trova diminuita, benchè la trasformazione in ossidi degli idrati di questi metalli dovrebbe produrre un effetto contrario; ma forse l'effetto osservato si può spiegare colla diminuzione di volume, che accompagna il disseccamento degli strati d'ossido, e che deve favorire i contatti fra i metalli stessi.

Accenneremo infine alle misure fatte da Salvioni [12] allo scopo di determinare le forze elettromotrici richieste nel pas-

saggio di una corrente fra due sfere di platino separate da un intervallo piccolissimo, ma tuttavia misurabile, e che variava da 0,06 a 0,73 millesimi di millimetro. Non riportiamo le sue misure, trattandosi probabilmente di un passaggio non più continuo, ed influenzato, nel modo che si vedrà in seguito, dal processo di scarica.

37. **Modificazioni della resistenza dei contatti per influenze elettriche.** — Fatta astrazione da una antica esperienza di Priestley, nella quale delle particelle metalliche venivano fuse assieme per mezzo di scariche elettriche, e da un fenomeno simile descritto da Varley davanti alla British Association nel 1870 (1), il primo a constatare una influenza delle scariche o della corrente elettrica sulla conduttività delle polveri metalliche, fu a quanto pare Munck af Rosenschöld [13], il quale, messe entro un tubo fra una laminetta di piombo ed un filo di ferro delle polveri di sostanze conduttrici (biossido di manganese, solfuro di mercurio, carbone di legno ecc.), osservò, che generalmente le scariche elettriche facevano crescere in forte proporzione la conduttività di queste sostanze. In modo analogo si comportavano delle mescolanze di zolfo e solfuro di mercurio fusi assieme e risolidificate, come pure dei metalli in grani, la cui resistenza elevatissima veniva abbassata di molto da una scarica, per riprendere il valore primitivo in seguito a scosse meccaniche date al tubo che conteneva i grani. Anche la corrente di una pila voltaica agiva in modo simile sulla conduttività delle polveri.

Sin dal 1838, come si vede, il fatto principale relativo alla

(1) Si tratta del fatto, che una polvere conduttrice non può servire opportunamente, a meno di essere mescolata ad una sostanza isolante, nel parafulmine per apparecchi telegrafici costruito da Varley, perchè, una volta traversata da una forte scarica, la polvere diventa conduttrice anche per le correnti telegrafiche.

variazione della conduttività delle polveri e delle limature metalliche, prodotta da azioni elettriche, era constatato e pubblicato; ma questo fenomeno, che sembrava legato alla così detta resistenza di passaggio, passò inosservato. La stessa sorte toccò in seguito alle esperienze del sig. Hughes [14].

Questi, come si è saputo soltanto in questi ultimi tempi, già nel 1879 aveva, non solo osservato le variazioni di resistenza provocate nei contatti microfonici da scariche di bottiglie di Leyda o da estracorrenti, la permanenza di queste variazioni nei contatti metallici ed il ritorno spontaneo alle condizioni primitive nei contatti di carbone, fenomeni che, come si dirà, vennero poi da altri nuovamente scoperti, ma era riuscito, valendosi di questa azione delle scariche, a trasmettere dei segnali sino ad una distanza di 400 metri. Di più egli sin d'allora aveva intravveduto chiaramente la causa degli effetti da lui scoperti nell'esistenza di onde elettriche trasmesse attraverso l'aria; e fu soltanto l'autorità di altri scienziati, i quali avevano assistito alle esperienze di Hughes ed avevano creduto di spiegarle in base agli ordinari effetti d'induzione elettromagnetica, che lo trattenne dal renderle di pubblica ragione.

Tuttavia il merito, se non della prima scoperta, almeno di una indagine sistematica ed eseguita indipendentemente dai suoi predecessori, spetta all'italiano prof. Calzecchi-Onesti, le esperienze del quale furono pubblicate nel 1884 e 1885 [15]. Questo fisico, in occasione di un suo studio sulla conduttività elettrica delle polveri metalliche, del quale abbiamo già parlato, aveva osservato, che interrompendo il circuito che comprendeva la pila ed il tubo contenente la polvere metallica, si otteneva una diminuzione della resistenza di quest'ultima. Ripetendosi l'operazione, la conduttività della polvere aumentava col numero delle interruzioni; essa, benchè scemasse col tempo, si conservava per un periodo piuttosto lungo, ma poteva essere distrutta istantaneamente, movendo alquanto il tubo che conteneva la

polvere o limatura. In modo analogo alle interruzioni del circuito, che comprendeva la pila ed il tubo colla limatura, agivano le scariche di una macchina di Holtz messa in comunicazione con una delle armature del tubo per mezzo di un filo di rame lungo e sottile, oppure anche l'influenza di un corpo elettrizzato. Avendo poi osservato, nell'esperienza colle interruzioni del circuito, una conduttività maggiore quando nel circuito si trovava un rocchetto, l'autore attribuì l'effetto all'estracorrente, cioè alla corrente, la quale si forma per autoinduzione all'atto dell'interruzione del circuito; e perciò egli fu condotto a modificare l'esperienza, non interrompendo più affatto il circuito, ma inserendovi il rocchetto secondario di un apparecchio d'induzione avente nel circuito primario un'altra pila ed un interruttore a mano. I fenomeni rimasero, in sostanza, gli stessi; ma l'autore, benchè li attribuisse all'induzione, si fermò a questo punto e non pensò di andare più oltre.

Più estese ancora delle indagini di Calzecchi-Onesti, e fatte pure in principio senza cognizione di lavori anteriori, furono le ricerche di E. Branly sulle variazioni di conduttività prodotte da varie influenze elettriche [16].

Le ricerche di Branly furono fatte sia con polveri o limature metalliche distese sopra lastre di vetro o di ebanite, oppure compresse, sotto pressioni variabili, fra due elettrodi entro tubi di ebanite, sia con miscugli di limature e sostanze isolanti, quali il fiore di zolfo, le resine, l'olio di colza ecc., compressi od anche fusi assieme in modo da formare lastre o cilindri solidi, sia infine con contatti semplici fra aste di rame ossidate oppure con colonne di lastre o di sfere metalliche. Le azioni elettriche emanavano o da macchine elettriche, dalle quali partivano dei conduttori che arrivavano sino in vicinanza dei contatti da esaminare, oppure da scintille che scoccavano ad una certa distanza o che passavano anche sui contatti stessi, oppure infine da una pila di grande forza elet-

tromotrice (sino a circa un centinaio di volta), nel circuito della quale i contatti sensibili erano inseriti. I risultati ottenuti furono i seguenti.

La resistenza delle limature metalliche e dei contatti semplici fra superfici metalliche è diminuita in forte proporzione per opera del passaggio di una corrente continua a forza elettromotrice elevata; in un caso p. e. la resistenza di un contatto unico da 80000 discese a 7 ohm. Diminuzioni analoghe, p. e. da parecchi milioni, sino a poche centinaia o decine di ohm, sono prodotte anche da scintille, che scocchino sui conduttori comunicanti coi contatti sensibili, oppure fra due elettrodi posti a distanze più o meno grandi da questi; l'azione è la stessa, sia che il contatto, al momento di subirla, si trovi inserito nel circuito della pila, sia che rimanga isolato. L'azione a distanza delle scintille non è impedita da un diaframma non metallico posto fra queste e la limatura; essa manca soltanto nel caso che l'apparecchio, dal quale emana l'azione (oppure quello che la riceve), sia rinchiuso completamente in un involucro metallico. Un breve filo metallico, che esca alquanto dall'involucro, è sufficiente, perchè di nuovo l'azione si manifesti. Le scosse meccaniche oppure dei riscaldamenti anche lievi fanno ricomparire la resistenza primitiva. In certi casi infine, le azioni elettriche, invece di una diminuzione, producono un aumento della resistenza; così per esempio accade con colonne di polvere d'antimonio o d'alluminio di poca resistenza, o di perossido di piombo, e con certi vetri platinati, mentre con altri campioni di quest'ultimo materiale si hanno delle alternative di aumento e di diminuzione.

La causa di queste azioni risiederebbe, secondo Branly, in una modificazione del dielettrico che si trova fra le superfici metalliche; nel caso normale della diminuzione di resistenza il dielettrico avrebbe acquistato, sotto l'influenza delle onde elettriche o del passaggio di una corrente continua, una conduttività, che persisterebbe per un certo tempo, mentre nel caso dell'au-

mento di resistenza la modificazione si sarebbe prodotta in senso opposto. Ma il Branly nelle prime sue pubblicazioni non va più oltre e non indaga nè la natura di questa modificazione, nè il meccanismo col quale si produce l'azione a distanza delle scintille, benchè, all'epoca di quelle pubblicazioni, Hertz avesse già insegnato la produzione e fatto conoscere il modo di propagarsi e le proprietà delle onde elettriche. Queste furono invece il punto di partenza dei lavori di Lodge [17], il quale, quasi contemporaneamente a Branly, studiando i diversi metodi per rivelare la presenza delle onde elettriche, ricorse al fenomeno descritto anni prima da Varley, e di cui si è fatto cenno più sopra. Esso consiste in ciò, che due conduttori separati da un piccolo intervallo spesso riescono come saldati assieme dopo il passaggio di scintille elettriche. L'effetto immediato delle onde elettriche consiste allora nella produzione di oscillazioni elettriche nel sistema; queste, producendo delle scintille nella piccola interruzione, saldano assieme le parti prima separate, e stabiliscono fra di esse una comunicazione metallica. Di questo fenomeno Boltzmann si era servito per far perdere la carica ad un elettroscopio carico [18]. Lodge invece la utilizzò nel suo rivelatore microfonico per chiudere, per opera delle onde elettriche, il circuito di una lampada elettrica oppure quello di un campanello elettrico. Il rivelatore microfonico del Lodge consiste semplicemente in una vite metallica ad estremità arrotondata e levigata, collocata a piccola distanza di fronte ad una lastra metallica, in modo che una scintilla possa stabilire la comunicazione fra di loro. Un altro rivelatore, che agiva nello stesso modo era fatto con una molla a spirale d'acciaio, la quale mediante una rotazione attorno al proprio asse poteva essere avvicinata più o meno ad una lastra d'alluminio. Ma nel frattempo Lodge, essendo venuto a cognizione dei lavori anteriori di Branly, ed essendosi formata la convinzione, che il suo rivelatore a contatto unico in massima non differiva dai contatti multipli

adoperati da Branly, abbandonò il proprio apparecchio in favore del tubo a limatura più comodo e più sensibile. Al tubo a limatura, il quale conservava la sua conduttività anche dopo che era cessata l'azione delle onde elettriche, venne poi aggiunto un martellino elettrico attivato dalla stessa corrente che percorreva il tubo; in seguito però, siccome le scintille nell'interruttore del martellino potevano agire anch'esse sulla conduttività della limatura, Lodge diede la preferenza ad un martellino mosso meccanicamente, ed il quale, come quello elettrico, picchiando leggermente contro il tubo, serviva a ristabilirne la resistenza primitiva necessaria per una nuova azione delle onde.

Un altro autore, il quale indipendentemente da Branly e da Lodge aveva osservato le variazioni di resistenza dei contatti imperfetti, fu l'inglese Minchin, delle cui osservazioni si è fatto cenno nel § 33. Egli si limitò alla semplice constatazione del fatto, poichè solo più tardi le esperienze di Branly gli fecero riconoscere, che probabilmente la causa del fenomeno da lui osservato era l'azione delle onde elettriche sulla conduttività dei contatti.

Infine Aschkinass [19], volendo studiare l'azione calorifica delle onde elettriche per mezzo di un bolometro fatto di striscie di stagnola, si accorse, che la resistenza di questo apparecchio diminuiva sensibilmente sotto l'azione delle onde, cosicchè esso costituiva quella specie d'indicatore già citato nel § 33. Lo stesso fenomeno fu osservato da Wilsing e Scheine [20] occupati in uno studio analogo, e non si cade certamente lontano dal vero supponendo, che altri fisici pure abbiano osservato, senza rendersene ragione e senza intravvederne la natura intima, l'azione delle onde sulla resistenza dei contatti imperfetti.

38. Tentativi di spiegazione dei precedenti fenomeni. — Constatati i fatti principali, si impone naturalmente la ricerca

della loro *causa*. Secondo il Lodge la conduttività generata dalle onde sarebbe la conseguenza di una maggiore intimità di contatti dovuta alle scintille nelle piccole interruzioni. Per opera di queste scintille rimarrebbero forati gli strati di ossidi o di altre sostanze isolanti esistenti sulle superfici metalliche, le quali in tal modo verrebbero in contatto diretto, e certe volte si troverebbero anche fuse assieme per effetto del calore sviluppato dalle scintille. Ad aiutare questo processo contribuirebbe pure l' azione chimica esercitata dal flusso elettrico sugli strati d' ossido che coprono la superficie dei metalli; persino l' attrazione elettrostatica fra le particelle cariche di elettricità opposte potrebbe raggiungere, secondo i calcoli di Lodge e per le piccole distanze della disposizione descritta, dei valori considerevoli anche con differenze di potenziale lievi. Il ritorno alla resistenza primitiva provocato da scosse meccaniche sarebbe poi dovuto alla rottura dei contatti formati nel modo innanzi descritto.

Tale spiegazione del processo, che si compie nei contatti imperfetti, non è accettata da Branly, non potendo essa rendere ragione del comportamento di certe mescolanze fra limature e dielettrici solidi, le quali, benchè dure come il marmo, sono sensibili anch' esse, secondo Branly [21], all' influenza delle onde elettriche. Per il Branly [22] non vi sono che due possibilità: o lo strato isolante interposto fra le particelle conduttrici diventa conduttore per effetto del passaggio di una corrente di alto potenziale, oppure bisogna ammettere, che in genere il passaggio di una corrente fra le diverse parti di un sistema di conduttori non richieda il contatto immediato fra le diverse parti del sistema, e che inoltre la distanza, la quale in questa maniera può essere varcata dalla corrente, venga aumentata notevolmente da azioni elettriche anteriori. Di queste due possibilità, il Branly ritiene più verosimile la prima.

In base al suo modo di concepire il meccanismo delle variazioni di resistenza nei contatti imperfetti, il Lodge aveva dato a

questa classe di apparecchi il nome di « *coherer* », e questo nome è entrato nell' uso pressocchè universale. Infatti esso ebbe il sopravvento, non solo sulla traduzione tedesca di « Fritter » o « Frittröhre » proposta da Slaby, la quale è dettata dal concetto troppo particolare di una vera e propria *saldatura* operata dalle onde elettriche, ma anche sul nome di « *radioconduttori* » che fu scelto più tardi da Branly, e che tuttavia sembra da preferirsi perchè, senza implicare nulla riguardo la causa intima della influenza delle radiazioni sul potere conduttore, si limita ad esprimere il fatto di tale influenza.

La teoria di Branly ha il merito di prestarsi alla spiegazione sia delle variazioni transitorie di conduttività sia di quelle permanenti, tanto nei casi di aumento come in quelli di diminuzione di resistenza, ma essa difficilmente si accorda con certi fatti d' esperienza. Così Lhuillier [23], sottoponendo all' azione delle onde elettriche della limatura di ferro immersa nell' alcool, trovò, che la conduttività prodotta dall' azione delle onde persisteva, anche sottraendo l' alcool e sostituendolo con altro nuovo. Secondo Dorn [24], la conduttività di un tubo a limatura, pur essendo diversa nel vuoto da quello che è nell' aria, nell' uno e nell' altro caso assume quasi lo stesso valore sotto l' azione delle onde elettriche; ed infine non si è mai constatato direttamente, che le onde elettriche abbiano prodotto in un dielettrico una variazione del genere di quella voluta dalla teoria del fisico francese.

Anche la teoria del Lodge, del resto, non ha conservato il suo carattere originale, ma fu modificata o completata in diverse maniere. Così, piuttostochè una saldatura diretta fra le particelle metalliche si può ammettere la formazione di *ponti* conduttori, in seguito all' evaporazione del metallo, ed alla condensazione dei vapori sulla parete dei canaletti aperti nell' interno del dielettrico dal passaggio delle scintille; si comprende pure la possibilità di una orientazione, e persino di lievi movimenti,

che tenderebbero a disporre le particelle in filamenti continui lungo le linee di forza del campo elettrico esistente fra gli elettrodi dell'apparecchio.

La grande influenza, che hanno sul fenomeno del coherer le condizioni superficiali dei metalli in contatto, si comprende facilmente in base alla teoria di Lodge. Le esperienze di Branly [25], il quale aveva creduto di combattere questa teoria costruendo dei radioconduttori con limature di metalli non ossidabili, come oro e platino, dapprima ritenuti inadatti a questo scopo, non possono considerarsi decisive, poichè quei radioconduttori stessi avevano gli elettrodi formati di metalli ossidabili. È vero che in seguito il fenomeno della radioconduzione si è verificato anche coll'uso esclusivo di metalli nobili, che Tommasina [26] ed altri hanno realizzato dei radioconduttori con polvere di carbone fra elettrodi dello stesso materiale, e che Aschkinass [27] ha dimostrato la sensibilità di un contatto fra punte di rame, le quali, per eliminare ogni traccia d'ossido, erano state arroventate ed immerse, ancora roventi, in alcool metilico che le copriva poi durante l'esperienza; ma da molteplici osservazioni risulta tuttavia, che un lieve strato d'ossido o di altro composto chimico alla superficie dei contatti, se non è indispensabile, ad ogni modo è assai favorevole al funzionamento dei radioconduttori. Secondo le osservazioni di Dorn [28], le quali, come già abbiamo visto, mostrano la poca o nulla influenza dello strato gassoso aderente ai metalli, si prestano male alla costruzione dei radioconduttori tanto i metalli non ossidabili, quanto quelli che lo sono troppo facilmente; secondo Blondel [29], non solo si possono realizzare facilmente dei radioconduttori *invertiti*, vale a dire costruiti con limature di metalli non ossidabili fra elettrodi ossidabili, ma la limatura d'argento, la quale allo stato puro non è sensibile alle onde, diventa tale, se la si copre di un leggero velo di solfuro di questo metallo; uno strato troppo grosso di solfuro gli fa diminuire o anche perdere nuovamente la sensibilità,

tanto che si può regolare quest'ultima regolando opportunamente lo spessore dello strato di solfuro.

Anche un'altra serie di fatti può essere citata in appoggio alla teoria di Lodge.

I movimenti e persino la congiunzione delle particelle conduttrici, p. e. di goccioline di mercurio divise in emulsione con diversi olii, furono osservati, sotto l'influenza di scariche vicine oppure per opera del passaggio di una corrente di sufficiente forza elettromotrice, da Vicentini [30], da Appleyard [31] e da Campanile e Di Ciommo [32]; la formazione di catene metalliche, che congiungono fra di loro gli elettrodi, fu messa in evidenza con svariate esperienze da Tommasina [33], mentre Sundorph [34], avendo levato mediante una debole calamita la limatura di ferro o di nichel disposta fra due elettrodi e resa conduttrice da una scarica vicina, dovette constatare, che ne rimaneva una parte, la quale formava ponte fra i due elettrodi. Infine, la produzione di scintille nei contatti del coherer fu osservata direttamente da Arons [35], da van Gulik [36] e da Tommasina [33], oppure studiata, quando le scintille erano troppo deboli per essere viste direttamente, mediante la fotografia da Malagoli [37], mentre l'adesione, prodotta fra due conduttori da una debole scintilla, fu constatata, oltrechè da Lodge fin dalle prime sue esperienze, anche da Maclean [38] col suo radioconduttore speciale.

Sin dalle prime sue esperienze il Branly aveva osservato, che, oltre le scosse, anche un riscaldamento benchè lieve fa ritornare il coherer alla resistenza primitiva. Come fece poi vedere Aschkinass [39], questo effetto è dovuto all'*aumento* di temperatura e non già alla temperatura stessa, mentre le diminuzioni di temperatura lasciano invariata la conduttività acquistata sotto l'influenza delle onde. In questa differenza di comportamento il citato autore volle vedere un argomento contro la formazione dei ponti fra gli elettrodi del coherer;

ma si comprende, come fece osservare il Sundorph [40], che questi ponti, non potendo piegarsi, debbano necessariamente rompersi, se dilatati per effetto di un riscaldamento, mentre essi potranno resistere alla contrazione che accompagna un abbassamento di temperatura. Anche un'altra obbiezione sollevata da Aschkinass, e cioè che le scintille richieste dalla teoria di Lodge non potrebbero passare da una particella all'altra, quando l'ambiente nel quale queste si trovano è completamente vuoto. dopo le esperienze di Broca [41] sulle scariche nel vuoto non appare più valida.

Si potrebbe invece obbiettare a tutte quelle esperienze, nelle quali si osservarono delle scintille oppure dei movimenti sensibili, che in esse sieno entrate in giuoco delle forze elettriche ben più intense di quelle, che ordinariamente agiscono nei radioconduttori, e particolarmente in quelli adoperati per la telegrafia senza filo. E se anche si volesse ammettere, per ragione di continuità, la produzione di scintille benchè minime e non visibili direttamente anche coi potenziali più deboli, non sarebbe ancora dimostrato, che tali scintille siano effettivamente la causa delle diminuzioni di resistenza osservate; tanto più che, in linea di fatto, nei casi dove si hanno delle scintille visibili, i fenomeni non di rado rivestono un carattere irregolare, ed anzichè ad una diminuzione conducono ad un aumento della resistenza. Si è già accennato di volo all'esistenza dei radioconduttori, il cui comportamento è inverso a quello, che fin qui si è principalmente studiato. Occorre farne ora uno studio più dettagliato.

39. **Radioconduttori ad aumento di resistenza.** — Il Sig. Arons [42] preparò dei contatti sensibili all'azione delle onde, tagliando in due una striscia di stagnola applicata ad un vetro, e coprendo il taglio con limatura metallica. Osservando quest'ultima con un microscopio, mentre era sotto l'azione delle onde, vide scoccare delle scintille, che davano luogo alla for-

mazione dei ponti menzionati più sopra; ma spesse volte i ponti venivano distrutti da altre scintille più vivaci, tantochè ne risultava un aumento invece di una diminuzione della resistenza primitiva. Degli aumenti di resistenza simili, e dovuti probabilmente ad una causa analoga, li aveva già riscontrati il Branly [43] col vetro platinato o con foglioline d'oro incollate sul vetro. L'aumento della resistenza si ottiene poi in modo perfettamente costante con certe disposizioni, alle quali questo loro comportamento fece dare il nome di « anticoherer », e che possono servire da rivelatori per le onde elettriche nella stessa guisa degli altri radioconduttori. Una di queste disposizioni, è quella dovuta al Sig. Neugschwender [44], di cui fu fatto cenno nel § 33. Essa consiste in uno strato d'argento depositato su vetro ed interrotto da un taglio largo circa $^1/_3$ di mm. Inserendolo nel circuito di un galvanometro e di una pila esso si mostra conduttore, soltanto se sul taglio si deposita uno strato d'umidità soffiandovi contro colla bocca. In questo caso anzi la corrente, dapprima debolissima, cresce sino a raggiungere un massimo, in seguito alla deposizione elettrolitica di metallo nello strato d'umidità che congiunge i due orli del taglio; ma queste esili formazioni vengono distrutte, e la resistenza, la quale in un caso era discesa a 400 ohm, aumenta sino a raggiungere altri valori, p. es. 80000 ohm, non appena l'apparecchio viene colpito da onde elettriche. Cessata l'azione di queste ultime, la resistenza diminuisce di nuovo sino al valore primitivo.

Dei fenomeni perfettamente analoghi, e dovuti probabilmente a processi simili, li aveva constatati, indipendentemente da Neugschwender, anche Aschkinass [45], servendosi sia di due punte di rame, fra le quali faceva ponte una goccia d'acqua, sia di un ordinario radioconduttore a limatura, il quale, secondo quell'autore si trasforma in un anticoherer, quando si riempiono con acqua gli interstizi fra le particelle della limatura. Diverso invece sarebbe, secondo Marx [46], il meccanismo del funzionamento

di un altro anticoherer, e cioè della cosidetta *lastra di Schäfer*, la quale è entrata nella pratica della telegrafia senza filo. Come l'apparecchio di Neugschwender anche questo di Schäfer consiste essenzialmente in uno strato d'argento depositato su vetro ed interrotto da uno o più intervalli; però questi ultimi, nell'apparecchio di Schäfer, sono fatti con una punta di diamante come nei risonatori Righi, sono larghi soltanto un centesimo di millimetro all'incirca, rivestiti con una vernice e introdotti in un tubo.

La resistenza di questi strati, la quale non raggiunge mai un valore infinito, perchè gli orli del taglio sono sempre congiunti da qualche filamento metallico non asportato dal diamante. aumenta in forte proporzione sotto l'influenza delle onde elettriche, e torna al valore primitivo, quando è cessata questa influenza. Secondo Marx, il funzionamento di questo apparecchio sarebbe dovuto in parte al fatto, che i filamenti metallici che congiungono gli orli del taglio, aumentano di resistenza per effetto del calore sviluppato dalle onde elettriche, e in parte alla produzione di scintille con conseguente evaporazione del metallo e distruzione dei ponti, i quali poi tornerebbero a formarsi. ripristinando la conduttività primitiva, in seguito alla condensazione dei vapori metallici.

Un altro esempio di aumento della resistenza sotto l'influenza delle onde elettriche è quello offerto dal biossido di piombo, e constatato già da Branly [43]. Il fenomeno in questo caso dipende, secondo il Sundorph [47], da una azione chimica delle onde, e precisamente dalla trasformazione del biossido nell'ossido di piombo, il quale è meno conduttore per l'elettricità che non il perossido. Ad una causa simile sarà probabilmente da attribuirsi anche l'aumento di resistenza, osservato da Aschkinass [39], nel solfuro di rame. Si tratterebbe, insomma, sempre di eccezioni dovute a cause particolari. Invece secondo Bose [48] i casi di aumento di resistenza per opera delle onde elettriche sarebbero

tutt' altro che eccezionali, e costituirebbero un fenomeno altrettanto normale quanto quello delle diminuzioni. Infatti il Bose, studiando sotto il punto di vista della sensibilità dei loro contatti rispetto alle onde elettriche molti metalli ed altri conduttori, ne trovò parecchi, la resistenza dei quali invece di diminuire presenta degli aumenti più o meno marcati. Il caso più notevole è quello del potassio; un radioconduttore costituito da due superfici sferiche di questo metallo protette contro il contatto dell' aria da un olio minerale presenta, quando la pressione nel contatto è stata regolata in modo da ottenere una opportuna sensibilità, non solo un forte aumento della sua resistenza sotto l' azione delle onde, ma ancora il fenomeno del ritorno spontaneo alla resistenza primitiva quando è cessata l' azione. Lo stesso comportamento, sebbene in grado più debole, si riscontra con altri metalli alcalini od alcalino-terrosi. I contatti di zinco, di ferro e di altri metalli degli stessi gruppi potevano essere regolati in modo da dare alternativamente l'aumento o la diminuzione della loro resistenza. Coll'arsenico ridotto in polvere da poco tempo si otteneva l'effetto che il Bose chiama negativo, vale a dire l' aumento della resistenza, quando la sostanza si trovava a piccola distanza dalla sorgente delle onde elettriche in modo da riceverne una azione intensa; allontanando la sostanza dalla sorgente, si arrivava ad una distanza critica, alla quale l' azione era nulla, mentre più oltre l' azione tornava a manifestarsi, ma questa volta nel senso positivo, ossia di una diminuzione della resistenza. Invece coll' osmio, l' effetto che l' autore considera normale, vale a dire quello prodotto da radiazioni intense, è positivo, mentre con radiazioni deboli si ha un lieve effetto in senso negativo. Vi sarebbero, secondo Bose, altri esempi ancora tanto di sostanze positive quanto di negative, e fra le une e le altre ve ne sarebbero di quelle che tornano automaticamente, cessata che sia l' azione delle onde, alla resistenza iniziale, come pure di quelle

che richiederebbero per questo ritorno il riscaldamento o le scosse meccaniche.

Per comprendere tutti questi fatti sotto un punto di vista unico e generale il Bose suppone, che quasi tutte le sostanze, ad eccezione forse soltanto di quelle che non mostrano sensibilità alcuna alle onde elettriche, possono esistere in due varietà allotropiche, differenti nelle loro proprietà fisiche, e, fra queste, anche nella loro conduttività elettrica. Di queste due varietà, allo stato naturale non perturbato della sostanza ne esisterebbe soltanto una, la quale però, sotto l'azione delle onde elettriche, verrebbe parzialmente trasformata nell'altra varietà: il processo, limitato agli strati superficiali, aumentando l'intensità delle onde progredirebbe, non già sino alla trasformazione completa dell'una varietà nell'altra, ma sinchè si fosse formato il massimo della seconda varietà compatibile colle circostanze, dopo di che un ulteriore aumento nell'intensità delle onde avrebbe per conseguenza una trasformazione in senso inverso. Fra le diverse sostanze, vi sarebbero delle differenze rispetto alla stabilità del prodotto delle onde; in certune questo prodotto, estremamente instabile, esisterebbe soltanto sinchè dura l'azione delle onde, cessata la quale esso sparirebbe, mentre in altri casi il prodotto della trasformazione sarebbe più o meno stabile e richiederebbe, per il ritorno alle condizioni primitive, l'intervento di altri agenti quali il calore oppure le scosse meccaniche. Infine, per l'azione ripetuta delle onde elettriche la sostanza, in seguito alla presenza del prodotto di trasformazione non sparito completamente negli intervalli, si mostrerebbe meno sensibile, d'onde uno stato di fatica o di esaurimento, perfettamente simile a quello che presenta, nel regno animale, la sostanza nervosa.

Queste conclusioni però non sono accettate da Guthe [49], il quale da esperienze proprie e da un esame critico delle osservazioni di Bose giunge alla conclusione, che queste ultime

ed in particolare le alternazioni fra diminuzione ed aumento di resistenza, che il Bose aveva trovato con l'azione intermittente delle onde elettriche, sono dovute esclusivamente al carattere complesso del tubo a limatura. Mizuno [50], il quale con tubi a limatura aveva ottenuto dei risultati perfettamente simili a quelli di Bose per i metalli positivi, non trovò traccia di comportamento alterno con un radioconduttore di piombo ad un solo contatto, mentre con due contatti trovò che la resistenza dopo un breve aumento discendeva ad un valore minimo e costante. Anche col potassio, il più negativo dei metalli nelle esperienze di Bose, l'effetto normale secondo Mizuno fu positivo. Il Guthe poi, le cui esperienze furono fatte con radioconduttori a contatto unico fra calotte sferiche, ebbe l'effetto, che il Bose chiama negativo, con tutti i metalli esaminati, specialmente però coi meno duri e aventi le superfici pulite di recente, ed osservò anche le alternazioni fra aumento e diminuzione della resistenza rilevate da Bose. L'assieme dei fenomeni però lasciava l'impressione, confermata da successive esperienze dello stesso autore, che l'effetto negativo, ossia l'aumento di resistenza al quale il più delle volte fa seguito la regolare diminuzione, fosse dovuto a piccole particelle metalliche che congiungerebbero fra di loro le calotte sferiche in contatto imperfetto e che verrebbero lanciate via, quando si espone il radioconduttore a degli impulsi elettrici energici. L'assieme dei fenomeni segnalati da Bose rientrerebbe in tal modo nella medesima classe coll'anticoherer di Neugschwender e colla lastra di Schäfer.

40. Variazioni di resistenza prodotte dal passaggio della corrente. — In quasi tutte le ricerche, di cui abbiamo parlato sinora, le variazioni nella resistenza delle limature erano provocate da onde elettriche emanate da un oscillatore di Hertz o da altra disposizione analoga. In verità, già Branly aveva constatato, che una corrente, nel circuito della quale si inserisca

un tubo a limatura, produce in alcuni casi il medesimo abbassamento della resistenza, che può essere provocato da una scintilla vicina. Ma l'interesse pratico della telegrafia senza filo fece sì, che la maggior parte delle ricerche scientifiche relative ai radioconduttori venissero eseguite in condizioni per quanto era possibile analoghe a quelle della pratica, e per conseguenza si ricorresse quasi esclusivamente all'uso delle onde. Il Branly però, non solo aveva rilevato il fatto della diminuzione di resistenza provocato da correnti continue, ma aveva trovato inoltre, che questo abbassamento era graduale, e proporzionale al numero degli elementi di pila inseriti nel circuito del tubo a limatura. Non occorre insistere sull'importanza che avrebbe questo fatto in rapporto alle varie spiegazioni proposte per il fenomeno dei radioconduttori; ma si può obbiettare, che la proporzionalità fra causa ed effetto è forse dovuta soltanto alla molteplicità dei contatti, i quali si modificano in numero più o meno grande a norma della intensità della corrente. Le seguenti esperienze danno valore a tale obbiezione. Il Sig. E. v. Gulik [51] sperimentò con una disposizione a contatto unico fra due sfere metalliche leggermente ossidate e soggette ad una lieve pressione. Inserendo questo contatto in un circuito contenente una forza elettromotrice, che si poteva variare a piacimento, la resistenza iniziale superiore a 10000 ohm, rimase invariata, come lo faceva prevedere la teoria di Lodge, sinchè la forza elettromotrice non ebbe oltrepassato un determinato limite, dopodichè la resistenza improvvisamente discese sino a circa 4 ohm. Anche Aschkinass [27] sperimentando con un radioconduttore molto sensibile a contatto unico trovò, che la sua resistenza diminuiva per opera della corrente, purchè questa avesse una forza elettromotrice non inferiore ad un certo valore critico, il quale in molti casi era di circa 0,2 volta, ma che variava però entro limiti piuttosto larghi da un radioconduttore all'altro. Si può, secondo Aschkinass, determinarne il valore,

applicando al radioconduttore una forza elettromotrice più elevata e diminuendola sinchè le scosse riescono a far tornare la resistenza primitiva; la forza elettromotrice a questo punto era in molti casi eguale a circa la metà del valore critico. Colla forza elettromotrice critica l'abbassamento della resistenza, il quale sembrava prodursi istantaneamente quando si facevano agire sul contatto delle onde elettriche, procedeva invece lentamente quando era prodotto dalla corrente, e alle volte non era completo che dopo più di un minuto primo.

Analogamente, Trowbridge [52], il quale con radioconduttori a limatura aveva trovato l'abbassamento della resistenza proporzionale, entro certi limiti, alla quantità di elettricità lanciata nel circuito, con un radioconduttore formato di sfere d'acciaio disposte in fila sotto una certa pressione trovò invece che, per produrre una diminuzione di resistenza sensibile bisognava oltrepassare un certo valore critico della forza elettromotrice. L'esistenza della forza elettromotrice critica risulta pure da altre ricerche, eseguite con contatti fra conduttori sferici da Guthe e Trowbridge [53] e da Guthe [49]. Secondo questi autori, aumentando l'intensità della corrente attraverso il contatto, la differenza di potenziale fra le due sfere, la quale sino ad un certo punto era cresciuta regolarmente, non variava più che lentamente avvicinandosi assintoticamente ad un valore limite diverso secondo la natura dei contatti, ma indipendente dalla f. e. m. della pila adoperata. Lo stesso risultato ottenne Guthe quando adoperò correnti alternate invece di correnti continue.

Risultati contrari in parte a quelli ora menzionati furono ottenuti da altri fisici. Così Blondel e Dobkevitsch [54], pur confermando che per ogni radioconduttore vi ha quella certa forza elettromotrice critica variabile colla compressione della limatura, colla natura e col grado d'ossidazione del metallo, la quale, se applicata agli estremi del radioconduttore, ne fa diminuire in modo permanente la resistenza, ebbero nello stesso tempo a con-

statare degli abbassamenti di carattere transitorio anche con forze elettromotrici minori.

Il Sig. Eclles [55] va più oltre, e nega decisamente l'esistenza di una forza elettromotrice critica, accostandosi così alla conclusione di Branly, in seguito a ricerche fatte con un gran numero di radioconduttori, la maggior parte del tipo Marconi, vale a dire, come si vedrà in seguito, formati con limatura di nichel fra cilindri d'argento a basi parallele e distanti 0,3 mm. e con altri radioconduttori fatti con limatura di ferro fra punte o fra piani dello stesso metallo. L'abbassamento della resistenza veniva provocato da una forza elettromotrice derivata, mediante un contatto mobile, dal circuito di chiusura di una batteria d'accumulatori, la resistenza primitiva si ripristinava automaticamente per mezzo di una suoneria elettrica, la quale ad intervalli brevi e regolari dava degli urti contro il tubo del radioconduttore. Questi intervalli essendo troppo brevi perchè l'ago del galvanometro inserito nel circuito del radioconduttore potesse, fra un colpo e quello successivo, tornare indietro dalla deviazione impulsiva per riprendere la posizione corrispondente alla resistenza elevata, i singoli impulsi si sommavano in una deviazione costante corrispondente ad un valore medio della resistenza. Variando allora la f. e. m., che agiva sul radioconduttore, trovò, che ad ogni valore di questa corrispondeva una determinata resistenza del

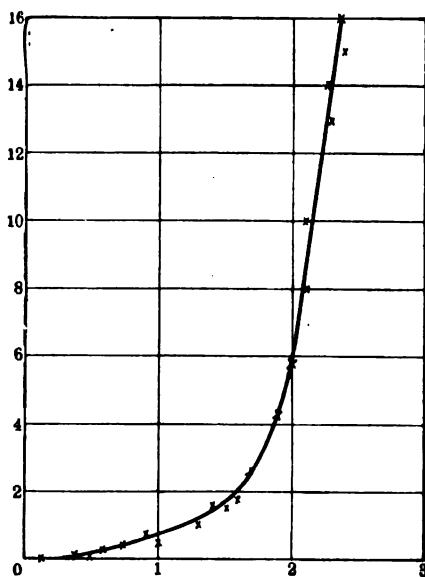



Fig. 88.

tubo a limatura. Il risultato di una serie di misure di questo genere è dato dalla curva della fig. 88, le ascisse della quale rappresentano le forze elettromotrici applicate al radioconduttore, mentre le ordinate sono le corrispondenti deviazioni dell'ago del galvanometro. Si vede senz'altro, che di una forza elettromotrice critica vera e propria non si potrebbe parlare; l'abbassamento della resistenza comincia già colle forze elettromotrici più deboli, mentre se la resistenza fosse costante sino ad un certo valore della forza elettromotrice, la prima parte della curva degenererebbe in una linea retta passante per l'origine delle coordinate. Tuttavia vi ha un certo punto della curva, nel quale la curvatura è particolarmente sentita, e la resistenza, per un determinato aumento della f. e. m., varia in modo particolarmente rapido; e questo valore, il quale si può far corrispondere alla forza elettromotrice critica quale fu definita da altri autori, dà una misura della sensibilità del radioconduttore. Infatti, secondo le determinazioni di Eccles, le sensibilità di diversi radioconduttori studiati in quanto all'azione su essi prodotta dalla corrente, stanno nello stesso ordine di quelle che essi mostrano di fronte all'influenza delle onde elettriche. Lo si vede dalla figura 89, nella quale i diversi tracciati appartengono a sette radioconduttori indicati in ordine alfabetico secondo il grado di sensibilità determinata empiricamente dalla facilità più o meno grande, colla quale essi rispondevano alle onde elettriche; i radioconduttori più sensibili all'uso pratico sono nello stesso tempo quelli, che mostrano la varia-

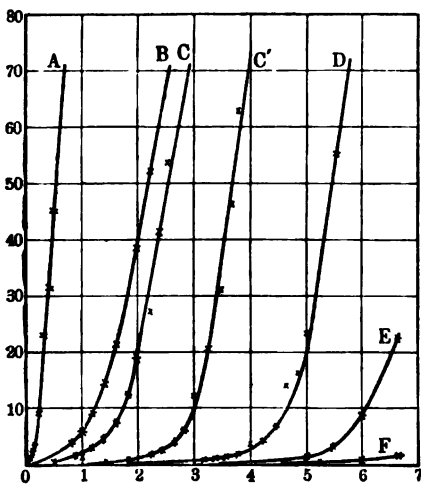



Fig. 89.

zione più rapida della loro resistenza e la forza elettromotrice critica più bassa.

Dei risultati perfettamente simili a quelli trovati da Eccles sono stati ottenuti dal Sig. Bose in un recente suo lavoro [56]. Come nelle esperienze di Eccles, dei tubi a limatura, o qualche volta anche dei contatti semplici, furono sottoposti all'influenza di una forza elettromotrice ottenuta per derivazione da un circuito percorso da una corrente costante. Soltanto questo autore, invece di ripristinare mediante scosse meccaniche la resistenza primitiva della limatura, studiò le variazioni della resistenza, che accompagnavano in modo continuo quelle della forza elettromotrice. Il contatto mobile, mediante il quale si ottenevano le variazioni di quest'ultima, trascinava con sè una carta sensibile alla luce e sulla quale cadeva un raggio riflesso dallo specchio del galvanometro inserito nel circuito del radioconduttore.

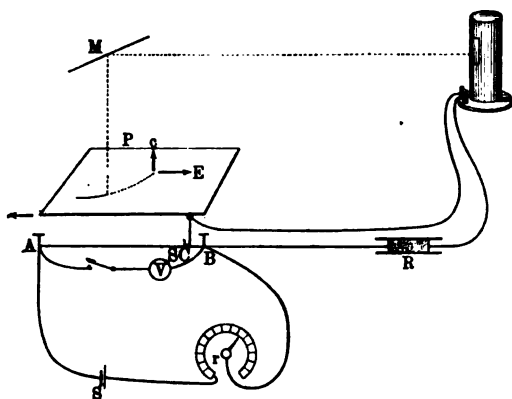



Fig. 90.

L'assieme della disposizione sperimentale è rappresentato nella fig. 90, nella quale AB è il filo, da cui si deriva la corrente passante nel radioconduttore e che comprende una batteria S ed una resistenza *r*; SC è il contatto mobile, al quale è congiunto il piatto P colla carta sensibile. Spostandosi quest'ultima proporzionalmente alle variazioni della forza elettromotrice ed in senso normale ai movimenti del raggio luminoso riflesso dallo specchio del galvanometro, il raggio lascia sulla carta una traccia curvilinea, la quale rappresenta senz'altro le variazioni

della resistenza in funzione della forza elettromotrice crescente o decrescente applicata al tubo a limatura.

L'esame di queste curve, chiamate da Bose « curve caratteristiche », è assai istruttivo. Le curve della fig. 91, per esempio, mostrano le variazione dell'intensità della corrente, e per conseguenza le variazioni della resistenza, nel contatto fra una punta ed una superficie di ferro sotto diverse pressioni, dalle quali dipende l'intensità iniziale della corrente. Si vede che, mentre nella curva A, la quale fu ottenuta con una debole pressione nel punto di contatto, la diminuzione della resistenza

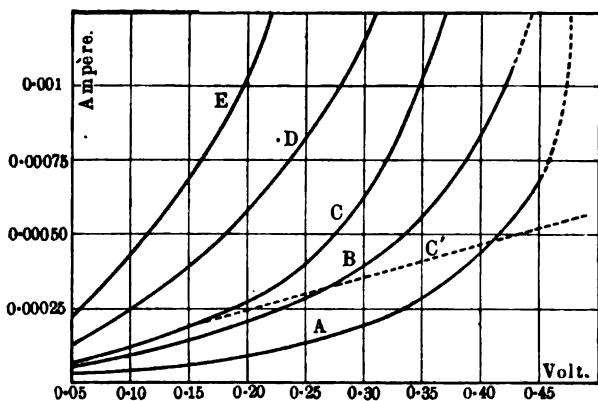



Fig. 91.

dapprima lenta diventa poi improvvisamente rapida, ad un certo punto, che corrisponde alla forza elettromotrice critica constatata dagli altri autori, nelle curve successive questo carattere si perde sempre di più, e la diminuzione della resistenza si fa sempre più uniforme. La linea C', la quale fu ottenuta sostituendo al radioconduttore, ad un certo punto, una resistenza costante ed uguale a quella che aveva il radioconduttore stesso in questo momento, non è altro che l'espressione della legge di Ohm per una resistenza costante, e fu tracciata per controllare il funzionamento dell'apparecchio. Delle curve quasi identiche si ottengono anche coi contatti multipli dei tubi a

limatura. È interessante poi seguire, collo stesso metodo, il comportamento di un tubo a limatura sotto una variazione ciclica della forza elettromotrice. Se, sottratto il radioconduttore alle azioni (riscaldamento o scosse), le quali gli fanno riprendere la resistenza primitiva, lo si sottopone ad una forza elettromotrice dapprima crescente e poi decrescente in modo graduale, si trova, che durante il periodo di diminuzione della forza elettromotrice la sua resistenza è inferiore a quella che aveva per lo stesso valore della forza elettromotrice nel periodo in cui questa aumentava. Per conseguenza l'intensità della corrente è maggiore, a parità di forza elettromotrice, nel periodo di diminuzione che in quello di aumento della forza elettromotrice medesima.

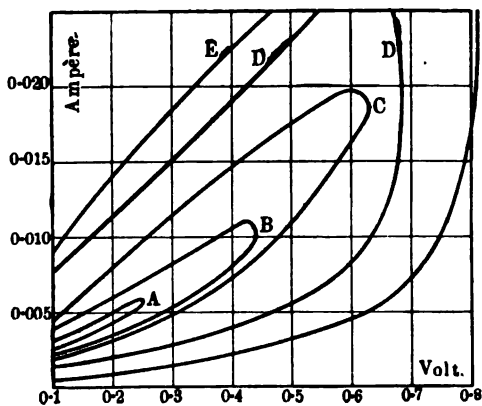



Fig. 92.

Ciò si vede nei tracciati della fig. 92 data da Bose e nella quale le forze elettromotrici sono prese come ascisse e le intensità di corrente come ordinate. Ciascuna curva intendesi percorsa, dapprima nel tratto inferiore da sinistra a destra, di poi nel tratto superiore in senso inverso. Sinchè la forza elettromotrice, come è il caso della curva A, non raggiunge dei valori elevati, anche le intensità della corrente, durante la diminuzione della f. e. m., sono di poco superiori a quelle della prima fase; è rimasto, dalla prima alla seconda fase, soltanto un lieve residuo di conduttività, e l'area rinchiusa dalla curva è assai piccola. Il residuo di conduttività e l'area rinchiusa dalla curva sono invece assai grandi, per le curve ottenute arrivando a forze elettromotrici assai elevate. Di più si vede,

specialmente dalle curve B e C, che le variazioni della resistenza hanno un certo ritardo rispetto alle variazioni della f. e. m. Infatti, le intensità più grandi della corrente corrispondono, anzichè ai massimi raggiunti dalla f. e. m. durante la sua variazione, a valori già minori.

In complesso il comportamento che si rileva da queste curve è perfettamente analogo, come fa osservare il Bose, a quello dei corpi magnetici sottoposti ad una variazione ciclica di forza magnetizzante. Invece, con un radioconduttore di quelli che tornano automaticamente alla resistenza non perturbata, il Bose, per una variazione della f. e. m. da 0,2 a 1,2 volta ed una variazione della resistenza fra i limiti di 50000 e 4245 ohm, ottenne i medesimi valori delle resistenze appartenenti a determinati valori della f. e. m. tanto nella fase ascendente quanto nella fase discendente di quest'ultima; per conseguenza, apparivano sovrapposti anche i due rami della curva e sparivano l'effetto di ritardo e l'area analoga all'area d'isteresi di altri processi ciclici.

41. **Considerazioni finali.** — I fatti esposti nel precedente § non sono privi d'interesse per ciò che riguarda la pratica della telegrafia senza filo. Ed invero, sebbene l'esistenza di una forza elettromotrice critica ben determinata, alla quale corrisponda una improvvisa diminuzione della resistenza, sia diventata almeno molto dubbia secondo le ultime ricerche, tuttavia queste concordemente assegnano certi limiti alla forza elettromotrice compresa nel circuito, in cui si trova inserito il radioconduttore. Infatti, Aschkinass [27] osserva che, con una pila di forza elettromotrice poco inferiore a quella che egli chiama la forza elettromotrice critica, si ottiene una diminuzione della resistenza interrompendo una o più volte il circuito, per effetto della estracorrente d'apertura, la cui f. e. m. si somma a quella della pila. L'autoinduzione del circuito del radioconduttore deve

dunque essere la più piccola che sia possibile; e piccola deve essere pure, tenuto conto specialmente della difficoltà di soddisfare alla condizione precedente, la f. e. m. della pila inserita in quel circuito. D'altra parte è pure sufficiente, per far diminuire in forte proporzione la resistenza del radioconduttore, l'aggiunta di una f. e. m. (sia questa generata, come è il caso della telegrafia senza filo, dalle onde elettriche oppure in altre maniere) di poca entità.

Riguardo poi all'interpretazione da darsi al fenomeno dei radioconduttori è evidente, che dopo i fatti esposti non potrebbero più bastare, almeno nella loro forma primitiva, nè la teoria di Branly nè quella di Lodge. E lo stesso si dica pure di una teoria avanzata da Auerbach [57], secondo la quale il fenomeno dei radioconduttori dipenderebbe da una specie di pulsazione, vale a dire da dilatazioni e contrazioni periodiche, le quali, generate dalle onde elettriche, stabilirebbero fra le superfici vicine dei contatti così intimi da far entrare in azione le forze d'adesione. Questa teoria è basata sull'analogia di comportamento fra le oscillazioni elettriche e le onde sonore, le quali pure, secondo le esperienze di Auerbach, fanno abbassare in forte proporzione la resistenza dei contatti imperfetti (1).

L'analogia però oltre ad essere imperfetta, giacchè le onde sonore meglio che sulle limature agiscono sopra i contatti fra pezzi più grossi, p. e. fra due sfere oppure sopra viti metalliche contenute in un tubo, non potrebbe spiegare l'effetto prodotto dalla forza elettromotrice delle pile inserite nel circuito. È su quest'ultima azione specialmente che si basano alcune teorie recenti, le quali fanno dipendere il fenomeno dei radioconduttori esclusivamente da un effetto di f. e. m. Secondo Ferrié [58], quando due particelle conduttrici di un radiocon-

(1) S'intende che parliamo qui di variazioni permanenti e non di quelle transitorie che si utilizzano nel microfono.

duttore vengono avvicinate fra di loro, sinchè fra le loro parti attigue rimanga soltanto un sottile strato del dielettrico interposto, esse formano un condensatore, fra le armature del quale, sotto l'azione di onde elettriche oppure di una forza elettromotrice costante, si stabilisce una differenza di potenziale. Se questa è abbastanza elevata si produrrà una scintilla, la quale forerà il dielettrico e potrà anche dar luogo alla formazione di un ponte fra le armature. La differenza di potenziale a ciò necessaria sarà assai piccola, perchè è sottilissimo lo strato dielettrico, e dipenderà, oltrecchè dalla natura del mezzo gassoso, anche dalla natura del metallo da cui è formato il radioconduttore.

Lo stesso Ferrié cerca pure di spiegare i fenomeni presentati da quei radioconduttori, che spontaneamente riprendono la primitiva resistenza. Egli ammette perciò che, quando due granelli di limatura sono vicinissimi, il dielettrico che li circonda si ritiri lateralmente lasciando vuoto un piccolo spazio, là dove la distanza fra i granelli è la più piccola. Quando una piccola differenza di potenziale si forma fra quei due granelli avviene una scarica attraverso quel piccolo spazio vuoto, simile a quelle ben note, che si osservano nei tubi vuoti, e ciò è causa della conducibilità assunta dalla polvere. Se la forza elettromotrice cresce, aumenta quella lenta scarica, la quale ingrandisce lo spazio vuoto in cui ha luogo, e produce un ulteriore aumento di conducibilità. Se poi la forza elettromotrice diventa tanto grande da produrre fra i due granelli una scintilla, questa formerà fra essi momentaneamente una specie di ponte conduttore. Al cessare della forza elettromotrice fra i granelli, cesserà naturalmente la maggior conducibilità prodotta nel modo descritto.

Colle idee di Ferrié hanno molta analogia quelle di Guthe e Trowbridge [53]. Secondo questi autori, sulla superficie di due particelle metalliche in cattivo contatto esiste un'atmosfera condensata cattiva conduttrice dell'elettricità, forse costituita

da vapor acqueo. Se fra le due particelle si stabilisce una differenza di potenziale, esse si avvicinano per la conseguente reciproca attrazione, cosicchè lo spessore dell'atmosfera che le riveste si riduce sopra un'area di piccola estensione a dimensioni molecolari. Il passaggio della corrente fa allora escire da una delle particelle dei ioni positivi, i quali determinano la formazione d'una comunicazione diretta fra le due particelle, e la conseguente diminuzione di resistenza. Se s'interrompe la corrente, la resistenza conserverà naturalmente il minor valore acquistato, il quale, come mostrano le esperienze dei citati autori, resta pure invariato, se si chiude nuovamente il circuito con una corrente più debole della precedente. Invece, una corrente di maggior intensità determina la produzione di nuovi ioni positivi, e quindi un'ulteriore diminuzione di resistenza, sinchè può comportarlo la grandezza dell'area su menzionata. Se, raggiunto questo limite, si fa ulteriormente crescere l'intensità della corrente aumentando la differenza di potenziale fra i due conduttori, si hanno due possibilità: o l'area suddetta è capace di allargarsi per emissione di ioni nello spazio che la circonda, ed allora la corrente trova, per il suo passaggio, un'area proporzionale alla sua intensità, oppure quell'area non può allargarsi, e la corrente più intensa produce del calore sino a fondere assieme le due superfici. Supponendo che ciò che avviene sia il primo di questi due effetti, gli autori trovano per la relazione fra l'intensità della corrente e la differenza di potenziale ai poli del radioconduttore una formola, la quale rappresenta con sufficiente approssimazione i fatti osservati.

Anche Eccles [55], delle ricerche del quale abbiamo parlato nel § 40, fa dipendere il fenomeno dei radioconduttori esclusivamente dal valore della differenza di potenziale fra i poli dei medesimi e non dalle sue variazioni; ma, a differenza di Ferrié e di Guthe e Trowbridge, egli considera l'azione di questa differenza di potenziale sulle particelle conduttrici stesse piuttosto che

sugli strati isolanti che le separano l'una dall'altra. A tale scopo egli considera una particella conduttrice di forma qualunque, purchè non sferica, la quale si trovi fra due conduttori piani e paralleli, fra i quali si produca una differenza di potenziale. In questo campo omogeneo, la particella tenderà a disporsi col suo asse più grande nella direzione del campo, e tanto più si accosterà a questa direzione, quanto maggiore sarà quella differenza di potenziale. In questo stato di cose i contatti fra le particelle successive si produrranno più facilmente che con una disposizione irregolare. Ed anche accettando l'ipotesi di Lodge, quella cioè di una saldatura vera e propria fra le particelle, si riconosce, che la facilità e la perfezione, colle quali può compiersi questo processo, dipenderà dalla più o meno perfetta orientazione delle particelle, e quindi dal valore della f. e. m. alla quale essa è dovuta. Così, secondo il concetto di Eccles, in un tubo di limatura si compiono due azioni distinte: quella puramente meccanica, che consiste in una orientazione delle particelle, e quella elettrotermica la quale stabilisce dei ponti fra le particelle stesse. Alla possibilità di qualche contatto e per conseguenza anche di qualche saldatura è dovuto il fatto, che un lieve aumento di conduttività si ottiene anche colle forze elettromotrici le più deboli, ma la parte principale l'autore la attribuisce all'orientazione. Con calcoli, che qui non possono trovar posto, l'autore trova poi fra la forza elettromotrice applicata agli elettrodi e l'intensità della corrente una relazione, la quale si accorda abbastanza bene con quella determinata sperimentalmente per un caso particolare; la divergenza fra la curva osservata e quella calcolata darebbe una misura della parte che ha, nel complesso del fenomeno, il processo elettrotermico.

Come la teoria di Ferrié, anche quella di Eccles ha il pregio di ridurre ad un medesimo meccanismo l'azione delle correnti continue e quella delle differenze di potenziale alternative

generate dalle onde elettriche. D'altra parte però essa ha il difetto di applicarsi, almeno nella forma datagli dal suo autore, soltanto a quei casi, nei quali la diminuzione delle resistenze ha carattere permanente e non sparisce che per effetto di una azione meccanica. Per farvi comprendere anche i casi di ritorno spontaneo, sia che il ritorno alla resistenza primitiva avvenga in modo completo, sia che si tratti di quei ritorni parziali studiati da Bose, occorrerebbe allargare le basi della teoria di Eccles mediante l'ipotesi di una specie di elasticità, la quale tenderebbe a ricondurre nella posizione primitiva le particelle deviate nel campo elettrico, e di un attrito, il quale opporrebbe una resistenza a questo ritorno.

Rimangono però alcuni fatti, i quali male si conciliano tanto colla teoria di Eccles, anche nella sua forma allargata, quanto colle altre teorie suesposte. Il Shaw [59] ha osservato, che quando le onde elettriche hanno provocato la coesione ed abbassato la resistenza nel contatto di due fili metallici disposti normalmente tra di loro in modo da toccarsi in un punto, questa resistenza rimane abbassata anche quando, cessata l'azione delle onde e separati i fili, essi vengono portati nuovamente in contatto. Di più l'inversione della corrente, che passa attraverso il contatto, favorisce la loro reciproca coesione. Per spiegare questi fenomeni il Shaw suppone, che le particelle alle superfici in contatto subiscano una specie di orientazione di carattere più o meno permanente e tale da rendere più intimo il contatto. Ma i fenomeni stessi sembrano piuttosto in relazione con un altro fatto constatato dal Guthe [49], e cioè che il riscaldamento indipendente di uno dei fili, che si toccano in un punto, fa diminuire la resistenza del contatto, la quale poi torna rapidamente al suo valore primitivo, cessato che sia il riscaldamento. Ciò nonostante il fatto descritto non entra nel quadro delle teorie suesposte nemmeno come fenomeno transitorio.

A dire il vero, anche secondo il Guthe stesso, il fatto da lui

osservato avrebbe nel comportamento dei radioconduttori soltanto una parte secondaria e transitoria. Per cui, se nessuna delle teorie di cui ci siamo occupati è in grado di spiegare in modo completo l'assieme dei fenomeni, ciò potrebbe anche dipendere dal fatto, che ciascuna di queste teorie, pur contenendo un nucleo di verità, ha il difetto di considerare questi fenomeni troppo esclusivamente da un lato e sotto un determinato punto di vista. In realtà, il comportamento dei radioconduttori appare troppo complesso per dover dipendere da una causa unica.

B. Dessau.

Citazioni bibliografiche

[1]) Calzecchi-Onesti. Nuov. Cim. ser. 3, t. 17, pag. 38, 1885.

[2]) Auerbach. Wied. Ann., t. 28, pag. 604, 1886.

[3]) Bidwell. Proc. Roy. Soc., t. 35, pag. 1, 1883.

[4]) Riportato da: Auerbach. Wied. Ann., t. 66, pag. 760, 1898.

[5]) Edison. Nature, t. 18, pag. 368, 1878.

[6]) Engelmann e Krebs, Ztscher. f. phys, und chem. Unterricht, t. 1, pag. 170, 1898.

[7]) Beetz. Pogg. Ann., t. 111, pag. 619, 1860.

[8]) Du Moncel. Comptes Rendus, t. 81, pag. 766, 1876.

[9]) Vicentini. La Lumière Electrique, t. 49, pag. 281, 1893.

[10]) Branly. Comptes Rendus, t. 120, pag. 869, 1895; t. 127, p. 219, 1898.

[11]) Dorn. Wied. Ann., t. 66, pag. 146, 1898.

[12]) Salvioni. Nuov. Cim. ser. 4, t. 6, pag. 291, 1897.

[13]) Munck af Rosenschöld. Pogg. Ann., t. 43, pag. 193, 1838.

[14]) V. una lettera di Hughes pubblicata da Fahie, History of Wireless Telegraphy, 1 ed., pag. 289.

[15]) Calzecchi-Onesti, Nuov. Cim. ser. 3, t. 16, pag. 61, 1884; t. 17, pag. 38, 1885.

[16]) La prima pubblicazione di Branly su questo argomento si trova in C. R., t. 111, pag. 785, 1890: una descrizione più estesa delle sue esperienze di allora è data dall'autore nell'« Eclairage Electrique » t. 40, p. 301

e 506, 1891. Fecero poi seguito altre comunicazioni nei C. R., t. 112, p. 90, 1891; nel « Journ. de Phys. », t. 1, p. 459, 1892; nei C. R., t. 118, p. 384, 1894; t. 120, p. 869, 1895; t. 125, p. 939 e 1163, 1897; t. 127, p. 219 e 1206, 1898; e varie comunicazioni davanti alla Società di Fisica Francese. Un riassunto completo infine è dato dall'autore stesso nel suo rapporto al Congresso internazionale di Fisica tenutosi a Parigi nel 1900.

17) Le esperienze di Lodge si trovano descritte nel capitolo « Recent Progress » della seconda edizione nel suo libro « Modern Views of Electricity » (Londra, 1892) ed in un altro libro « The Work of Hertz and some of His Successors » dello stesso Autore. Un riassunto, pure scritto da Lodge, della storia del coherer, si trova nel giornale « The Electrician » dal 12 novembre 1897.

18) Boltzmann, Wied. Ann., t. 40, p. 399, 1900.

19) Aschkinass. Verhandl, der Phys. Ges. Berlin, t. 13, p. 103, 1894.

20) Wilsing e Scheiner. Brit. Ass. Reports, 1895, p. 1143.

21) Branly. Comptes Rendus, t. 118, p. 348, 1894.

22) Branly. La Lum. Electrique, t. 51, p. 526, 1894.

23) Lhuillier. Comptes Rendus, t. 121, p. 345, 1895.

24) Dorn. Wied, Ann., t. 66, p. 146, 1898.

25) Branly. Comptes Rendus, t. 127, p. 1206, 1898.

26) Tommasina. Comptes Rendus, t. 127, p. 1014, 1898; t. 129, p. 40, 1899.

27) Aschkinass. Wied. Ann., t. 66, p. 284, 1898.

28) Dorn. Wied. Ann., t. 66, p. 146, 1898.

29) Blondel. L'Eclair. Electr., t. 16, p. 316, 1898.

30) Vicentini. Atti dell'Ist. Veneto, t. 7, p. 228. 1896.

31) Appleyard. Phil. Mag. ser. 5, t. 43, p. 374, 1897.

32) Campanile e Di Ciommo. Elettricità, marzo 1900.

33) Tommasina. Comptes Rendus, t. 127, p. 1014, 1898; t. 129, p. 40, 1899; Archives des sciences phys. ser. 4, t. 11, p. 557, 1901.

34) Sundorph. Wied Ann., t. 68, p. 594, 1899.

35) Arons. Wied. Ann., t. 65, p. 567, 1898.

36) Van Gulik. Wied. Ann., t. 66, p. 136, 1898.

37) Malagoli. L'Elettricità, t. 7, p. 193, 1898; Nuov. Cim., t. 8, p. 109, 1898.

38) Maclean. Phil. Mag. ser. 5, t. 48, p. 115, 1899.

39) Aschkinass. Wied. Ann., t. 66, p. 284, 1898.

40) Sundorph. Wied. Ann., t. 68, p. 594, 1899.

41) Broca. Comptes Rendus, t. 128, p. 356, 1899.

42) Arons, Wied. Ann., t. 65, p. 567, 1898.

[43]) Branly. Boll. de la Soc. de Phys, aprile 1900.

[44]) Neugschwender. Wied. Ann., t. 67, p. 430; t. 68, p. 92, 1899; Phys. Zeitschr., t. 2, p. 550, 1901.

[45]) Aschkinass. Wied. Ann., t. 67, p. 842, 1899.

[46]) Marx. Phys. Zeitschr., t. 2, p. 249 e 574, 1901.

[47]) Sundorph. Wied. Ann., t. 69, p. 319, 1899.

[48]) Bose. Electrician, t. 43, p. 441, 1899; t. 44, p. 626 e 649, 1900.

[49]) Guthe. Drude 's Ann., t. 1, p. 762, 1901.

[50]) Mizuno. Phil. Mag. ser. 5, t. 50, p. 445, 1900.

[51]) E. v. Gulik. Wied. Ann., t. 66, p. 137, 1898.

[52]) Trowbridge, Amer. Journ. of. Science ser. 4, t. 8, p. 199, 1899.

[53]) Guthe e Trowbridge, Phys. Rev., t. 11, p. 22, 1900.

[54]) Blondel e Dobkevitch. Comptes Rendus, t. 130, p. 1123, 1900.

[55]) Eccles, Electrician, t. 47, p. 6S2 e 715, 1901.

[56]) Bose, Electrician, t. 47, p. 830 e 877, 1901.

[57]) Auerbach, Wied. Ann., t. 64, p. 611, 1898.

[58]) Ferrié, L'Eclair. Electr., t. 24, p. 499, 1901.

[59]) Shaw, Phil, Mag. ser. 6, t. 1, p. 265, 1901.

PARTE TERZA

LA TELEGRAFIA ELETTRICA SENZA FILO

CAPITOLO I

Telegrafia per conduzione, per influenza elettrostatica e per induzione.

42. **La telegrafia per conduzione.** — Gauss e Weber, congiungendo mediante due fili metallici isolati il Gabinetto di Fisica e la Specola dell'Università di Gottinga e provocando, per opera di correnti elettriche generate in una di queste stazioni e trasmesse attraverso i due fili, delle deviazioni di una calamita sospesa nell'altra stazione, avevano realizzato nel 1833 il primo telegrafo elettrico adattato ai bisogni della pratica; pochi anni dopo l'americano Morse, sostituendo alle deviazioni della calamita l'attrazione di un'áncora da parte di una elettrocalamita, aveva ideato quell'apparecchio, il quale doveva vincere i suoi rivali ed acquistare una posizione dominante nel campo della telegrafia elettrica. Il numero dei fili necessari per la trasmissione dei segnali, grandissimo nelle disposizioni proposte dai primi inventori di telegrafi elettrici, era ridotto a due negli apparecchi di Gauss e Weber e di Morse, ma, come se ciò non bastasse, sorse fin d'allora il desiderio di liberare addirittura il nuovo mezzo di comunicazione dalla necessità di linee metalliche adibite ad esclusivo suo uso. È noto, che nel 1838 C. A. Steinheil, dietro suggerimento di Gauss, aveva voluto utilizzare, per la trasmis-

sione delle correnti telegrafiche, le rotaie delle ferrovie, che allora precisamente dall'Inghilterra avevano cominciato a passare anche sul continente. Fu questo tentativo benchè fallito davanti all'impossibilità d'isolare le rotaie e d'impedire il passaggio della corrente da una rotaia all'altra attraverso il suolo, che fece scoprire a Steinhel la conduttività della terra, dando origine in tal modo ad uno dei più grandi progressi pratici nel campo della telegrafia, vale a dire all'impiego del terreno come circuito di ritorno, ed alla conseguente possibilità di telegrafare con un solo filo conduttore. Ma Steinheil, non contento del passo importante che aveva fatto, così si esprime.

« Parve di particolare interesse il cercare secondo quali leggi di distribuzione la corrente galvanica eccita nel suo passaggio il suolo, che è una massa illimitata. L'eccitazione galvanica deve, non solo incontrare le parti di terreno poste fra le estremità del filo, ma estendersi senza limite; e soltanto dalla relazione che passa fra l'eccitazione del suolo e la distanza fra gli estremi dei fili eccitatori, dipende, se occorra una comunicazione per telegrafare. Posso qui brevemente annunciare di aver trovato dei mezzi per dedurre questa relazione dai fenomeni mediante esperienze; e risulta che l'eccitazione decresce rapidamente al crescere delle distanze dalle estremità eccitatrici ».

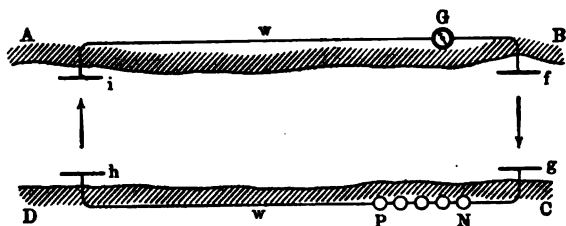
« Si possono bensì costruire degli apparecchi, nei quali l'induttore, completamente separato da un moltiplicatore, generi in questo per eccitazione del suolo delle correnti, che producano deviazioni visibili, fenomeno questo nuovo e fra i più meravigliosi nel campo della scienza; ma ciò vale solo per distanze piccole. Deciderà l'avvenire, se si riuscirà a telegrafare a grandi distanze senza comunicazioni metalliche. Per distanze minori, sino a 50 piedi, ne ho constatato la possibilità mediante esperienze, ma per grandi distanze è solo supponibile, o coll'aumento delle forze induttrici galvaniche, o colla costruzione di moltiplicatori specialmente adatti allo scopo, o infine coll'ingrandimento

delle superfici di contatto delle estremità del moltiplicatore. In ogni modo però questo fenomeno sarà meritevole di speciale attenzione, e forse non rimarrà senza influenza sul concetto teorico dei fenomeni galvanici ».

Pochi anni dopo anche Morse ebbe ad occuparsi del problema della trasmissione dei messaggi telegrafici senza la necessità di una comunicazione metallica continua. Come l'inventore stesso racconta, il problema gli si era presentato in seguito alla rottura di una linea telegrafica: « Nell'autunno del 1842 — egli scrive — dietro invito dell'Istituto Americano avevo preso impegno di dare al pubblico di Nuova York una dimostrazione della praticità del mio telegrafo, mettendo in comunicazione fra di loro Governor 's Island con Castle Garden distanti un miglio, ed a tale scopo avevo collocato sott'acqua i miei fili opportunamente isolati. Avevo appena cominciato ad operare e non avevo ricevuto che due o tre lettere, quando le mie intenzioni furono frustrate dalla distruzione accidentale di parte dei miei conduttori per opera di un battello, il quale, avendoli levati su colla sua ancora, li tagliò. In quell'istante di sgomento concepii immediatamente un progetto per evitare in avvenire simili accidenti, disponendo i miei fili lungo le rive del fiume, in guisa da far condurre dall'acqua stessa l'elettricità da un lato all'altro. L'esperienza però fu rinviata sino a dopo il mio arrivo in Washington, ed il 16 dicembre 1842 misi alla prova e con successo la mia disposizione attraverso il canale. Fu constatato il semplice fatto che l'elettricità poteva traversare un fiume senza altri conduttori all'infuori dell'acqua stessa ». Delle esperienze più estese egli le fece poi, nel 1844, colla disposizione seguente (fig. 93).

AB e CD sono le rive del fiume, NP è la batteria, G un galvanometro, *w w* sono i fili lungo le rive, comunicanti con lastre di rame *f*, *g*, *h*, *i*, che sono collocate sott'acqua. L'elettricità generata dalla batteria passava, secondo Morse, dal polo

positivo P alla lastra *h*, da quésta attraverso il canale largo 80 piedi alla lastra *i* e nel rocchetto del galvanometro, per com-

Fig. 93

piere poi il ritorno al polo N della batteria traversando una seconda volta l'acqua fra le lastre *f* e *g*. Le esperienze, fatte con varie lunghezze di filo lungo il canale e con diverso numero di coppie componenti la batteria, mostrarono, che l'elettricità traversava il fiume in quantità proporzionata alle dimensioni delle lastre, ma che però tale quantità dipendeva anche dalla distanza fra le due lastre collocate presso una stessa riva del fiume. Quest'ultima distanza, secondo Morse, dovrebbe essere tripla della larghezza del fiume da traversare, e non si ebbe alcun vantaggio ad aumentare ancora tale distanza.

Delle esperienze simili a quelle di Morse furono poi eseguite in Inghilterra nel 1845 da Wilkins, ma il successo da lui ottenuto sembra dovuto all'induzione elettromagnetica fra i due fili piuttosto che al passaggio della corrente attraverso l'acqua. Altre esperienze fece negli anni 1853 e 1854 Lindsay, il quale giunse a telegrafare attraverso il fiume Tay ad una distanza di più di un miglio inglese. Del medesimo problema si occuparono pure, intorno alla stessa epoca, Bonelli in Italia, Gintl in Austria, Bouchot e Douat in Francia, ma non si conoscono i dettagli delle loro esperienze. H. Highton, le esperienze del quale, iniziate nel 1852, abbracciano un periodo di vent'anni, propose, per le comunicazioni attraverso l'acqua, tre metodi dif-

ferenti; l'uno di questi metodi non è altro che quello di Morse, e cioè consiste nel far terminare i fili tesi dai due lati di un fiume in lastre immerse nell'acqua; un altro metodo consisterebbe nel congiungere, mediante dei fili non isolati immersi nell'acqua le estremità afacciate dei fili tesi ai due lati del fiume; infine anche questo filo doppio sarebbe superfluo in certi casi e basterebbe un filo semplice, imperfettamente isolato, l'acqua facendo da ritorno per la corrente. Il secondo metodo, il quale da Highton per la maggior parte dei casi era stato ritenuto il più opportuno, ebbe delle applicazioni pratiche specialmente da parte degli ingegneri dei telegrafi inglesi nelle Indie, i quali lo trovarono adatto a varcare i fiumi larghissimi di quei paesi, a condizione soltanto di una certa distanza fra i due fili non isolati immersi nell'acqua.

Alla telegrafia per conduzione nell'acqua si pensò pure di ricorrere durante l'assedio di Parigi nel 1870. Allora il signor Bourbouze, per mettere in comunicazione la città assediata colle truppe che dovevano portarle soccorso, aveva proposto di immergere nella Senna, in un luogo opportuno situato al di fuori della cerchia degli assedianti, due conduttori comunicanti con una pila e di provocare delle deviazioni in un galvanometro per opera delle correnti derivate mediante altri due conduttori immersi nella Senna entro la città. Delle esperienze preliminari avendo dato buon esito, il prof. D'Almeïda lasciò la città in pallone per mettere in opera il progetto. Prima però che gli apparecchi fossero pronti, la città si era resa. Le esperienze furono riprese qualche anno dopo, ma non se ne conoscono i risultati.

Se facciamo astrazione delle circostanze particolari che avevano dato luogo alla proposta di Bourbouze, le proposte ed i tentativi sin qui descritti, come abbiamo visto, per lo più ebbero il loro movente nel costo e nelle difficoltà tecniche, che si opponevano alla costruzione di cavi subacquei ben isolati e pro-

tetti, ed alla loro rapida riparazione nel caso di guasti. Perciò questi metodi, sebbene il Melhuish sino ad una diecina d'anni fa ne sostenesse la convenienza, vennero abbandonati in seguito ai perfezionamenti nella fabbricazione dei cavi e di fronte ai vantaggi evidenti, che rispetto a quei metodi offre la telegrafia mediante conduttori continui. Vi sono tuttavia dei casi, nei quali non si possono impiantare tali conduttori, e nei quali tuttavia sarebbe necessaria od almeno di gran vantaggio una comunicazione telegrafica. Intendiamo parlare delle comunicazioni fra i treni in moto e le stazioni, come pure fra le navi che si incontrano sul mare, o fra queste e la costa vicina. Mentre il primo di questi problemi venne studiato particolarmente nell'America, i bisogni ognora crescenti della navigazione richiamarono l'attenzione, specialmente in Inghilterra, sul secondo problema, al quale andava intimamente connesso un altro non meno importante: quello cioè di assicurare le comunicazioni telegrafiche fra la costa principale ed i fari delle piccole isole, per le quali male si prestano i cavi ordinari, esposti a troppo rapida distruzione. Vedremo in seguito in quale maniera si sia cercato, in America ed in Inghilterra, di risolvere i problemi suesposti ricorrendo alla induzione fra circuiti chiusi od aperti; per ora ci occuperemo delle esperienze istituite nel 1894 in Germania, dietro iniziativa delle autorità navali dell'impero, da W. ed E. Rathenau assieme a Rubens allo scopo di stabilire la possibilità della telegrafia mediante conduzione attraverso l'acqua. Tali esperienze, sebbene non diverse essenzialmente nella disposizione dei circuiti dal sistema delle quattro lastre adoperate già da Morse, ciò nondimeno in confronto colle esperienze anteriori diedero dei risultati assai superiori, dovuti in parte al perfezionamento degli apparecchi, ed in parte alla circostanza, che gli sperimentatori avevano un concetto esatto del modo, nel quale si chiude il circuito fra due lastre comunicanti coi poli di una pila ed immerse in un conduttore illimitato ed omogeneo, quale è appunto una

grande massa d'acqua. Infatti, il concetto antico e grossolano del Morse era inesatto. In realtà fra le due lastre, immerse e mantenute a potenziali diversi perchè comunicanti coi poli di una pila, si stabilisce un campo elettrico, caratterizzato da linee o superfici equipotenziali (o di livello), lungo le quali non vi ha movimento d'elettricità, mentre la forza elettrica, diretta ovunque normalmente a queste superfici, determina un movimento elettrico lungo certe linee, chiamate linee di corrente, le quali tutte cominciano sopra una lastra e finiscono sull'altra. L'assieme delle superfici di livello e delle linee di corrente è rappresentato nella fig. 94. Come si vede, le inee di corrente, assai addensate in prossimità della retta che congiunge le due lastre, diventano di più in più rade nelle parti lontane; le superfici equipotenziali mostrano un analogo carattere.

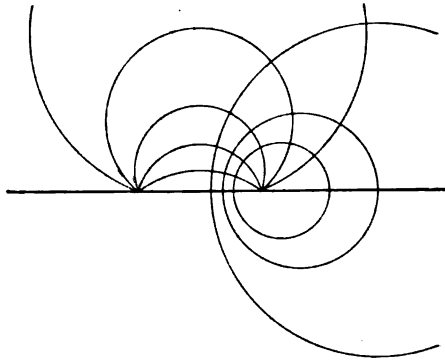



Fig. 94.

Se in due punti qualsiasi, purchè non appartenenti ad una medesima superficie di livello, si immergono nell'acqua altre due lastre conduttrici, la differenza di potenziale esistente fra questi due punti dovrà produrre in un conduttore, che congiunga esternamente le due lastre, una corrente elettrica. Però la forma e distribuzione delle linee di corrente e delle superfici equipotenziali resterà generalmente modificata. La corrente *derivata*, che percorre il filo, potrebbe rendersi manifesta mediante un galvanometro sensibile; ma è più opportuno ricorrere al telefono, strumento suscettibile di non minore sensibilità e più adatto ai bisogni della pratica; soltanto, in questo caso, la corrente che si manda nell'acqua per mezzo delle prime due lastre, deve

essere alternata od interrotta con una certa rapidità. Ciò appunto si fece nelle esperienze di Rathenau e Rubens, la disposizione delle quali risulta dalla figura 95. La linea primaria, la quale manda la corrente nell'acqua, comprendeva una batteria di accumulatori AB, un interruttore SU attivato da un motore elettrico per produrre le intermettenze della corrente, una resistenza variabile W, degli amperometri AA, un voltimetro VM, ed infine un tasto telegrafico TT, essa terminava in due lastre di zinco EP, di 15 m² di superficie ciascuna, immerse nell'acqua a poca distanza dalla riva, sulla quale si trovavano gli apparecchi. Da due barche, la distanza fra le quali variava nelle esperienze da 50 a 300 metri, erano sommerse nell'acqua altre due lastre di zinco E_1P_1, ciascuna di 4 m² di superficie, facenti capo al conduttore secondario, nel quale era inserito un telefono N. Per la località delle esperienze fu scelto il lago di Wannsee, formato dal fiume Havel

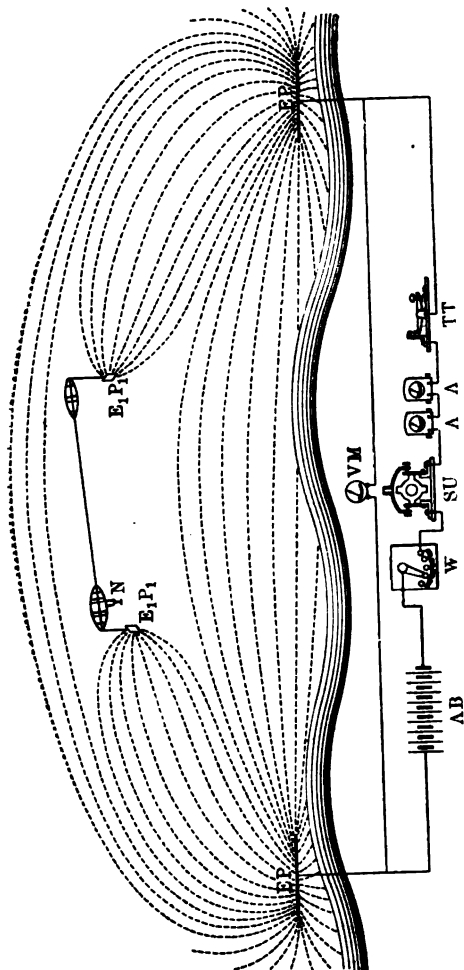



Fig. 95.

vicino a Potsdam. La stazione trasmettitrice (fig. 96) con una distanza di 500 metri fra le lastre EP, si trovava presso l'impianto centrale elettrico di Alsen, mentre la stazione ricevitrice venne spostata successivamente sino nella località segnata con 1, distante 4^{chm}, 5 dalla stazione trasmettitrice, poi venne portata

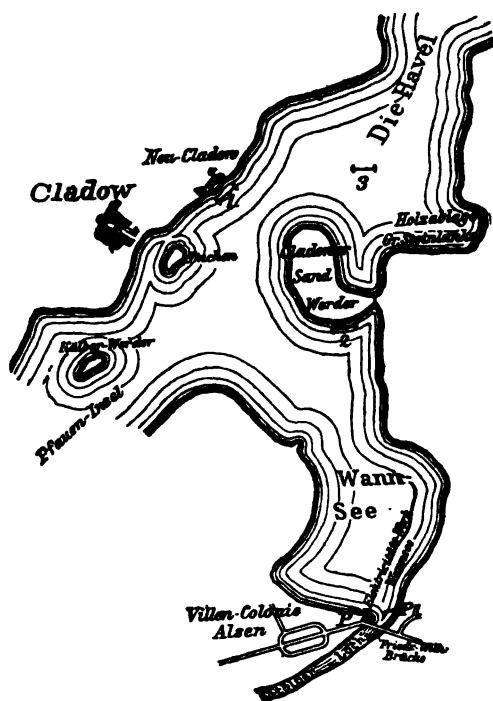



Fig. 96.

nelle località segnate coi numeri 2 e 3, situate davanti e dietro un'isola, separata dalla riva soltanto per mezzo di un canale stretto e poco profondo. Benchè l'intensità della corrente primaria non superasse i 3 ampère, e che il numero delle interruzioni fosse soltanto di 150 al minuto secondo, mentre la massima sensibilità del telefono si avrebbe avuta con circa 600 intermittenze, i segnali trasmessi rimasero percettibili, anche per

un orecchio non esercitato, sino alla distanza di quattro chilometri e mezzo, che era la massima disponibile. Si constatò inoltre, che la presenza dell'isola non costituiva un ostacolo sensibile alla trasmissione, quando la stazione ricevitrice si trovava nella località 3. Non v'ha dubbio, che risultati ancora migliori si sarebbero potuti ottenere, sia aumentando l'intensità della corrente nel circuito primario, oppure le distanze fra le lastre primarie o fra quelle secondarie, sia mediante una maggiore frequenza delle interruzioni od alternazioni della corrente primaria, sia infine coll'impiego di un ricevitore telefonico accordato per lo stesso numero di vibrazioni.

Del resto, anche nei terreni solidi e privi, o quasi privi, di umidità, le correnti mandatevi da una sorgente di elettricità, i cui poli comunicano con delle lastre affondate nel terreno, si diffondono in modo simile come nell'acqua. Ne danno prova i casi frequenti, nei quali dei segnali telegrafici comunicati ad una linea si manifestano, in modo da turbare talvolta le comunicazioni, anche su altre linee, ed in condizioni tali, da non poterli attribuire all'induzione fra i circuiti. Era dunque naturale, che si studiasse meglio questa diffusione della corrente nel suolo, per esaminare le possibilità di una telegrafia senza filo, basata su questo fenomeno, anche nell'interno dei continenti. Delle esperienze di questo genere furono eseguite, dopo quelle surriferite di Rathenau e Rubens, dal Sig. Strecker [4]. Anche questa volta venne constatato, che il limite di distanza per la trasmissione dei segnali cresceva, e a quanto sembrava con proporzionalità, al crescere dell'intensità della corrente primaria, e al crescere della distanza fra le lastre terminali in ciascuna delle due linee, e che i risultati migliori si ottenevano quando le due linee erano normali alla retta che congiungeva i loro punti di mezzo. Ma per quanto il sig. Stredker ottenesse una trasmissione percettibile sino ad una distanza di quasi 17 chilometri, superiore di gran lunga a quelle raggiunte a quell'epoca dagli

altri sperimentatori, questo risultato non si ebbe che con lunghezze di 3 chm. per la linea primaria e di 1 chm. per quella secondaria e con una intensità fra 14 e 19 ampère della corrente trasmettitrice. A queste condizioni difficilmente si potrebbe soddisfare nella pratica; e siccome, per varcare delle distanze maggiori di quelle che furono superate nelle esperienze del Sig. Strecker, sarebbe stato necessario probabilmente ingrandire oltre misura almeno l'uno dei fattori, dai quali dipendono quelle distanze, si comprende come quelle esperienze sieno state abbandonate.

Recentemente però i Signori Orling e Armstrong [5] sono venuti fuori con un sistema di telegrafia senza filo, il quale, a quanto si può giudicarne dalle scarse informazioni che si sono pubblicate in proposito, è basato anch'esso sulla conduzione nel suolo oppure nell'acqua. La parte essenziale della loro invenzione è un apparecchio destinato a compiere l'ufficio di un soccorritore, ossia a chiudere il circuito di un ricevitore telegrafico o di un altro congegno mosso da correnti intense. Il funzionamento di questo apparecchio, il quale deve essere in grado di reagire anche a correnti debolissime, è basato sul fatto che, se in un tubo capillare di forma conica un menisco di mercurio si trova in contatto con acido solforico diluito, il passaggio di una corrente attraverso questo contatto fa variare la tensione capillare del mercurio in tale maniera, che esso tende a spostarsi nel senso stesso della corrente. Questo fenomeno è da lungo tempo utilizzato nella costruzione di un elettrometro capace di rivelare e di misurare delle differenze di potenziale piccolissime. Nell'apparecchio di Orling e Armstrong (fig. 97) una delle estremità di un sifone pieno di mercurio pesca nel mercurio contenuto nel recipiente *a*, mentre l'altra estremità *h* si trova, ad un livello più basso, sotto la superficie dell'acido solforico nel recipiente *b*. Quest'ultima estremità è affilata in punta sottile,

onde impedire al sifone di travasare il mercurio dal recipiente *a* in quello *b*. Solo quando tra i contatti *i* e *j*, disposti rispettivamente nel sifone e nell'acido dal recipiente *b*, si stabilisce una differenza di potenziale di tale senso, che *i* divenga positivo, il mercurio, il quale prima era giunto soltanto sino alla punta del sifone, ne esce a piccole goccie, le quali, cadendo sulla leva *k*, la spostano e le fanno toccare il contatto *o*, chiudendo così il circuito di una pila e di un apparecchio telegrafico. Il livello del mercurio nel recipiente *a* è mantenuto costante mediante una specie di bottiglia di Mariotte *s t u*.

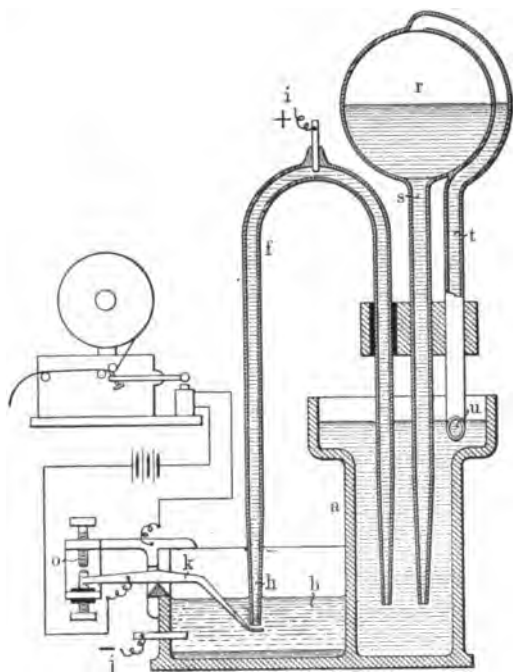



Fig. 97.

Un altro apparecchio costruito da Orling e Armstrong è quello della fig. 98. Un tubo di vetro *y* di piccolo diametro, disposto sopra un coltello a guisa della leva di una bilancia, contiene nella sua parte più bassa una goccia di acido solforico, mentre il resto è pieno di mercurio messo in circuito mediante dei fili metallici 4,4, che pescano nel mercurio dei recipienti 5,5. Quando fra questi recipienti si stabilisce una differenza di potenziale, la goccia di acido rinchiusa tra i due menischi di mercurio dovrà spostarsi nel tubo *y*, facendo inclinare questo tubo e con esso una linguetta 7, la quale chiude il circuito locale.

Per adoperare questi apparecchi, due conduttori, i quali comunicano con *i* ed *j* (fig. 97), oppure con 5,5 (fig. 98), vengono introdotti nella terra, mentre alla stazione trasmettente si trovano immersi nella terra altri due conduttori connessi con una sorgente d'elettricità. Tutto avviene dunque come nelle esperienze dei Signori Rathenau e Rubens e del Sig. Strecker, colla sola differenza che, essendo il soccorritore dei Signori Orling e Armstrong dotato, secondo gli inventori, di una maggiore sensibilità, si possono adoperare, alla stazione trasmettente delle correnti meno intense, oppure si possono var-

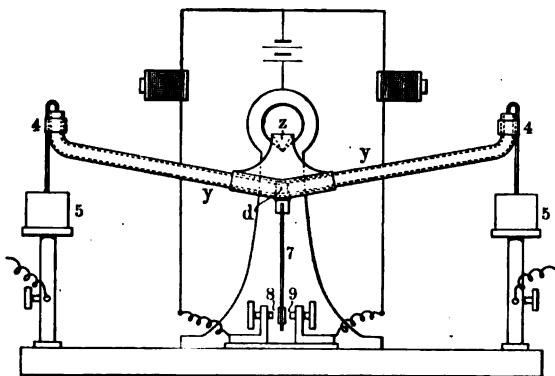



Fig. 98.

care, con una data intensità di corrente, distanze maggiori. I Signori Orling e Armstrong, infatti, avrebbero trasmesso dei segnali sino a distanza di 35 chm. Per distanze maggiori si collocherebbero in punti intermedi opportunamente scelti dei soccorritori, i quali, anzichè attivare un ricevitore telegrafico, chiuderebbero ciascuno il circuito di un'altra pila abbastanza intensa per agire sul soccorritore successivo. Le prove fatte cogli apparecchi descritti avrebbero dato, a quanto si riferisce, dei risultati buoni; all'atto pratico però assai probabilmente la stessa sensibilità del soccorritore lo renderà soggetto a frequenti disturbi per parte delle correnti vaganti nel suolo.

Della conduttività del suolo si è servito, infine, anche il signor Ducretet [6], nelle esperienze di telefonia senza filo che fece ultimamente a Parigi. Il trasmettitore era composto di una batteria di pile voltaiche o di accumulatori riuniti ad un microfono e a due conduttori introdotti nel suolo sino a m. 1,5 di profondità, distanti qualche metro l'uno dall'altro. Per il ricevitore si utilizzò il pozzo di una cava di pietra profondo 18 metri e comunicante colle catacombe. Dalla superficie del suolo sino a 4 metri di profondità il pozzo era rivestito di un tubo di ghisa. Un filo conduttore isolato, lasciato discendere entro questo pozzo, terminava in basso in una sfera metallica, mediante la quale fu messo in comunicazione col suolo delle catacombe, mentre fra l'estremità superiore del filo ed il tubo di ghisa venne inserito un telefono del tipo ordinario. Le parole pronunciate davanti al microfono vennero riprodotte fedelmente dal telefono, ma sollevata la sfera dal fondo del pozzo, la trasmissione dei suoni cessò immediatamente. La grande profondità, alla quale era immerso uno dei conduttori del circuito ricevitore, sebbene non indispensabile per la riuscita dell'esperienza, aveva tuttavia l'effetto di escludere l'azione delle correnti telluriche, le quali, nelle esperienze di Bourbouze di cui abbiam fatto cenno, avevano fatto deviare l'ago del galvanometro, anche senza che si chiudesse il circuito trasmettitore. Non dava disturbo neppure la vicinanza di una officina, nella quale funzionavano degli alternatori, e generalmente mancavano affatto quei rumori, i quali tanto spesso disturbano le comunicazioni telefoniche stabilite mediante fili conduttori. Malgrado ciò non è probabile, che le esperienze descritte, le quali, si dice, saranno continuate su più vasta scala, possano condurre a qualche applicazione pratica.

43. **Telegrafia per induzione e per influenza.** — Come si è visto nella Parte Prima, un filo conduttore, in vicinanza del quale si faccia variare l'intensità di una corrente elettrica, od

al quale venga avvicinato, oppure dal quale si allontani un altro filo percorso da una corrente elettrica, diventa sede anch' esso di una corrente, la corrente indotta, la cui durata è limitata al tempo nel quale si compie la variazione d'intensità o di luogo dell'altra corrente. Non appena scoperta, l'induzione ricevette numerose applicazioni. In queste, per ottenere degli effetti intensi, si cerca generalmente di avvicinare per quanto è possibile fra di loro i due circuiti; ma è noto, che l'induzione stessa si esercita anche, sebbene con intensità diminuita, quando i due circuiti sono separati da una notevole distanza, e sin dal 1880, il professor Trowbridge di Cambridge (Stati Uniti) aveva utilizzato questo fatto per trasmettere, da un filo che metteva in comunicazione l'osservatorio di Cambridge colla città, ad un altro filo lungo da 150 a 180 metri e distante dal primo di 1 miglio (1609 metri), i segnali di un orologio, il quale ad intervalli regolari interrompeva una corrente nel primo circuito. Negli anni successivi, dei sistemi per stabilire delle comunicazioni telegrafiche fra le stazioni ferroviarie ed i treni in moto furono proposti da C. A. Brown [7], da Willoughby Smith [8], da Phelps e da Edison assieme a Gilliland.

Il sistema di Phelps consisteva nel disporre, lungo tutta la linea ferroviaria ed in mezzo alle rotaie, un conduttore isolato, mentre sotto i vagoni dei treni in moto si trovavano dei fili avvolti a rettangolo. Il conduttore teso fra le rotaie era posto in comunicazione nelle stazioni ferroviarie, con apparecchi trasmettitori e ricevitori, ed apparecchi identici erano inseriti sul treno fra i capi dei fili avvolti a rettangolo. L'apparecchio trasmettitore comprendeva, oltre una pila ed un tasto telegrafico, un interruttore automatico per rendere intermittente la corrente.

Ogni volta che in una delle stazioni si abbassava il tasto, una corrente intermittente veniva lanciata nella linea, e una simile corrente si sviluppava per induzione nel circuito retttangolare.

Questo circuito comprendeva un telefono, il quale, col diverso ritmo e la diversa durata dei suoni, che in esso venivano ascoltati, poteva far conoscere il ritmo e la durata dei contatti effettuati col tasto telegrafico. Invece di ricorrere al telefono, si potèvano anche ottenere, coll'aiuto di un soccorritore e di un ricevitore di Morse, dei segnali scritti su una striscia di carta come nei telegrafi usuali.

In modo simile si poteva telegrafare dal treno in moto ad una delle stazioni, raddoppiando gli apparati.

Il sistema, che Edison e Gilliland fecero brevettare nel 1885, differisce alquanto da quello ora descritto. Invece di un filo speciale teso fra le rotaie, Edison e Gilliland si servono dei soliti fili telegrafici che corrono lunga la linea ferroviaria. L'apparecchio trasmettitore, come è disposto sul treno, si trova rappresentato schematicamente nella figura 99. Esso comprende un rocchetto d'induzione, nel circuito primario del quale è inserito, oltre la pila B ed il tasto Morse K, un interruttore automatico *n*; una delle estremità del filo secondario comunica colla terra per mezzo delle ruote del vagone e delle rotaie, l'altro capo invece è congiunto a delle striscie metalliche isolate R fissate sui vagoni, ed alle quali Edison pensò di sostituire addirittura il tetto dei vagoni stessi. Quando, avendosi abbassato il tasto, il rocchetto d'induzione

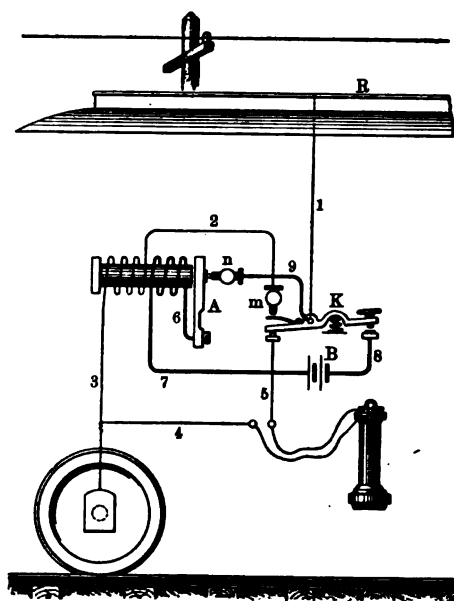



Fig. 99.

agisce, queste superfici metalliche ricevono alternativamente delle cariche positive e negative, le quali per influenza sul filo telegrafico vicino generano in questo delle correnti di carica e di scarica. Tali correnti, seguendo il filo di linea, fanno agire gli apparecchi telegrafici ricevitori con esso comunicanti.

In tal modo si possono trasmettere dai treni in moto alle stazioni dei segni telegrafici, che possono rilevarsi, sia con un telefono, sia con un apparecchio telegrafico scrivente. Degli apparecchi ricevitori identici erano disposti anche sui treni, e per telegrafare a questi dalle stazioni ferroviarie, Edison e Gilliland disponevano in queste ultime e vicino ai fili telegrafici, delle grandi lastre metalliche isolate, alle quali si dovevano comunicare delle cariche alternanti ottenute con mezzi simili a quelli adoperati sul treno.

Sviluppando ulteriormente questo suo sistema, Edison intendeva applicarlo, mediante delle grandi superfici metalliche sorrette da pali molto alti od eventualmente anche da palloni o cervi volanti, alla trasmissione dei dispacci a distanze più grandi, per esempio alle comunicazioni fra le navi in alto mare oppure fra le navi e la costa. Ma questi progetti arditi non furono mai messi in esecuzione; ed anche i telegrafi ferroviari di Phelps ed Edison, i quali erano stati messi in opera su alcune linee ferroviarie americane, e vi avevano funzionato in modo soddisfacente prestando dei buoni servizi, specialmente in un caso nel quale un treno era rimasto bloccato dalla neve, furono poi abbandonati, perchè troppo di rado riescivano utili nella pratica.

Circa alla stessa epoca però, il bisogno di mezzi sicuri di comunicazione fra la costa ed i fari distaccati da essa e, possibilmente, anche fra questi ultimi e le navi, diedero luogo, come già abbiamo detto, specialmente in Inghilterra, ad esperienze di telegrafia senza filo, nelle quali le trasmissioni si ottenevano il più delle volte col mezzo dell'induzione fra circuiti chiusi. Si riuscì, infatti, ad organizzare con questo sistema un servizio di

comunicazioni fra alcune stazioni, che tuttora funziona regolarmente; e le esperienze, istituite specialmente per iniziativa del capo dei telegrafi inglesi W. H. Preece, sulla potenzialità del sistema e sul massimo delle distanze che per mezzo di esso si possono varcare, non furono abbandonate, neppure quando le onde elettriche fornirono un nuovo e potente mezzo di trasmissione.

Le esperienze di Preece [9] cominciarono nel 1884. A quell'epoca si era già constatato, che quando un filo telegrafico è a poca distanza da un filo telefonico, si possono interpretrare i dispacci trasmessi col primo, ascoltando nel telefono comunicante col secondo, e si sapeva già, che questo effetto non era dovuto ad un fenomeno di conduzione attraverso il suolo, ma all'induzione delle correnti telegrafiche sul filo del telefono. Si pensò quindi di trarre profitto dalla grandissima sensibilità di questo strumento per ottenere, mediante l'induzione, la trasmissione di segnali a grandi distanze. Le prove fatte nel 1886 lungo le rive del Severn fra Gloucester e Bristol diedero buon risultato. Due linee lunghe 14 miglia, distanti in media 4 miglia e mezzo l'una dall'altra furono completate con altri fili, i quali, passando a grande distanza dalle linee principali, congiungevano fra di loro le estremità di ciascuna in modo da formare dei circuiti metallici chiusi. Delle interruzioni rapide di una corrente di 0,5 ampère, ottenute meccanicamente in uno di questi circuiti in modo da produrre un suono continuo in un telefono inserito nel medesimo, erano percettibili per mezzo di un telefono anche nell'altro circuito; di più si potè constatare, che il risultato era lo stesso, anche quando le due linee, invece di formare ciascuna un circuito metallico completo, erano congiunte colla terra alle loro estremità, alla guisa delle ordinarie linee telegrafiche. Però si era giunti così, coi mezzi di cui allora si poteva disporre, al limite dell'udibilità. Delle altre esperienze con linee meno lunghe, separate da distanze minori, mostrarono poi, che la

distanza massima, alla quale si potevano trasmettere i segnali, era pressocchè proporzionale alla lunghezza di ciascuno dei due circuiti ed alla radice quadrata dell'intensità della corrente nel circuito trasmettitore. Si riconobbe pure, che conveniva ridurre al minimo possibile le resistenze, le capacità e le autoinduzioni, e che la trasmissione riusciva tanto meglio, quanto maggiore era il numero d'interruzioni per minuto secondo.

Colla base di questi risultati, delle prove sopra una scala più vasta furono cominciate nel 1893 nel canale di Bristol, vicino

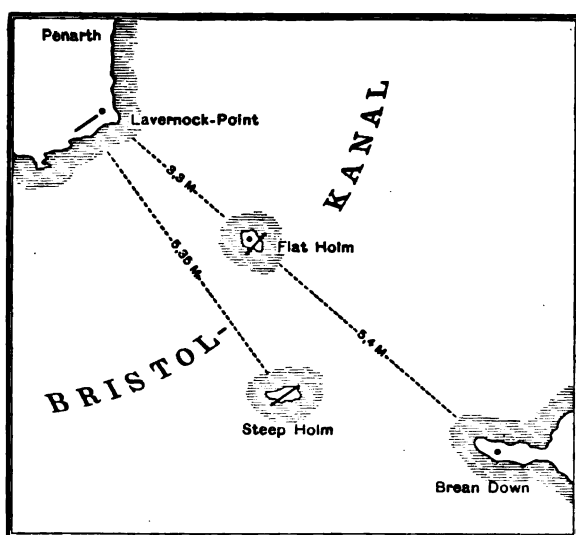



Fig. 100.

a Cardiff, fra una località chiamata Lavernock Point e due piccole isole, Flat Holm e Steep Holm, situate la prima a 3,3, la seconda a 5,35 miglia dalla riva di Lavenock Point (fig. 100), Presso questa località si costruì una linea lunga 1267 *yards* (1157 metri), mediante due grossi fili di rame, riuniti alle loro estremità in modo da formare un unico conduttore di sezione doppia, e sospesi a pali. Le estremità di questa linea furono messe in comunicazione col suolo.

A scopo di confronti si posero altre linee, lontane dalla prima 600 *yards* (588 metri) e ad essa parallele, e precisamente una formata con due fili coperti di guttaperca, ed una di filo di rame nudo; inoltre, ad uno dei fili coperti di guttaperca venne legato un filo di ferro, perchè rappresentasse in certo modo un cavo telegrafico. Le trasmissioni effettuate dalla riva mediante un alternatore da 192 alternazioni complete al minuto secondo, con una intensità massima di 15 ampère, e ricevute mediante una coppia di telefoni inserita nell'altro circuito, riuscirono perfette coll'isola di Flat-Holm, sulla quale si era disteso un filo ricevitore coperto di guttaperca lungo 600 *yards*; invece nell'isola di Steep-Holm, sebbene i segnali fossero ancora percettibili, non si ottenne una comunicazione sicura. Si fecero ancora delle esperienze con una piccola lancia a vapore avente a bordo diverse lunghezze di filo coperto di guttaperca; uno di questi fili, lungo $^1/_2$ miglio, aveva una delle sue estremità a bordo del battello e l'altra attaccata ad una botte galleggiante, in modo da poter essere mantenuto al di sopra della superficie dell'acqua oppure essere immerso quasi completamente. Sinchè il filo si trovava vicino alla riva, i segnali furono ricevuti colla stessa chiarezza nei due casi; a cominciare però da un miglio di distanza, i segnali arrivavano, quando il cavo si trovava al di sopra, e mancavano quando esso si trovava al di sotto della superficie dell'acqua. In questo fatto il Preece vede una prova, che la trasmissione realmente si sarebbe effettuata, non già per conduzione, ma per induzione, la quale non si manifesterebbe, oppure si manifesterebbe più difficilmente, attraverso un mezzo abbastanza conduttore come l'acqua.

Secondo Lodge invece, i fatti riferiti permettono soltanto di conchiudere, che l'induzione deve averci la sua parte; un'altra parte però spetterebbe alla conduzione, la quale anzi, a piccole distanze dalla linea primaria, sarebbe più efficace dell'induzione, mentre a distanze maggiori, essendo tanto l'una quanto l'altra

da sole insufficienti per produrre gli effetti osservati, questi sarebbero dovuti alle due cause combinate. A quanto pare, non si fecero in quelle stesse condizioni delle esperienze con correnti continue e costanti, le quali, escludendo ogni effetto d'induzione, avrebbero permesso di decidere la quistione. Tuttavia, dai risultati avuti da Rathenau e da Strecker è lecito conchiudere, che nelle esperienze di Preece la conduzione debba aver avuto soltanto una parte secondaria.

L'impianto di Lavernock Point e Fiat Holm, creato dapprima a scopo di studi, in seguito all'esito incoraggiante di questi ebbe poi un assetto permanente per compiere il servizio ordinario dei telegrammi fra la stazione sulla costa ed il faro situato sulla piccola isola. Si sostituì soltanto all'alternatore una pila di 50 coppie Leclanché unita ad un interruttore adattato per una frequenza di 400 interruzioni al minuto secondo, per la quale il telefono nel circuito ricevitore presentava il massimo della sensibilità. Sull'isola di Flat Holm, come a Lavernock Point, le linee sono ora costituite da grossi fili di rame nudi portati da pali; la capacità e l'autoinduzione sono ridotte al minimo, ed i segnali, per conseguenza, giungono perfetti, mentre la rapidità, colla quale essi si succedono, non dipende più che dall'abilità del telegrafista. In certe occasioni si dice essersi raggiunta la velocità di 40 parole al minuto. Il servizio regolare si effettua con quell'impianto dal mese di marzo 1898, e l'aggiunta di un soccorritore costruito da Evershed [10], e costituito da due rettangoli di filo sottilissimo, che si trovano fra i poli di una calamita ed entrano in vibrazione quando in essi vengono generate delle correnti indotte, ha contribuito a rendere l'impianto ancora più completo e pratico.

Del resto, per ottenere delle comunicazioni mediante l'induzione fra circuiti chiusi, sono possibili anche delle disposizioni differenti. Le due linee essendo, per es., costituite da fili aerei paralleli, i circuiti possono chiudersi, come abbiamo già visto, sia

mediante altri fili, che congiungano fra di loro le estremità di ciascuna linea allontanandosi più o meno dal percorso di quest'ultima, sia attraverso la terra o l'acqua per mezzo di lastre metalliche congiunte alle estremità dei fili. Ma si possono anche adottare dei rocchetti situati in un medesimo piano, vale a dire distesi sulla terra e costituiti, tanto alla stazione trasmettitrice

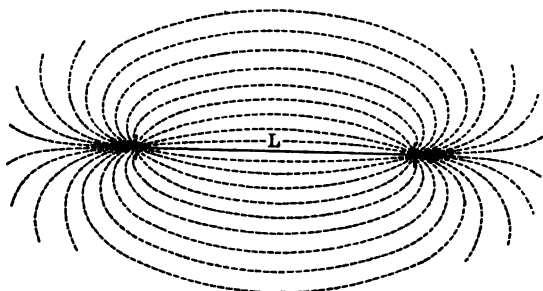



Fig. 101.

quanto a quella ricevitrice, da uno o più giri di filo avvolto attorno ad un'area circolare o rettangolare. Fra le prime due disposizioni non vi è in realtà nessuna differenza intrinseca, poichè, sebbene la corrente fra le due lastre terminali immerse

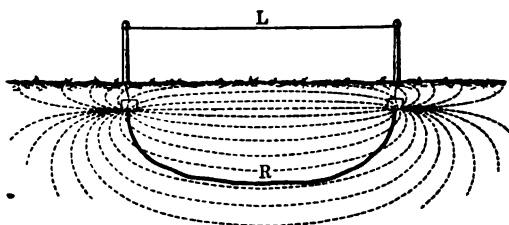



Fig. 102.

nella terra o nell'acqua non segua esclusivamente la linea più breve, ma si diffonda invece in tutti i sensi, si può tuttavia, come lo mostrano le figure 101 e 102, che rappresentano di pianta e di fronte la distribuzione delle linee di corrente fra le due lastre, imaginare sostituito a tutti questi conduttori messi in

derivazione un conduttore risultante R, che equivale al loro complesso, e costituisce, insieme alla linea aerea L, il solito circuito chiuso. Però, secondo il sig. Preece, il sistema di far chiudere il circuito attraverso la terra sarebbe più vantaggioso dell' altro.

Con determinate lunghezze di filo, disposte prima in linee parallele sulle due stazioni, ed avvolte poi a rocchetti orizzontali, il Preece ottenne degli effetti migliori ed una trasmissione a distanze assai maggiori, colla prima disposizione che colla seconda. In pratica, ed anche tenendo conto delle diverse cause che debbono diminuire questi effetti, il Preece ritiene, che per superare p. es. una distanza di 10 miglia dovrebbe bastare su ciascun lato una linea lunga anch' essa 10 miglia, e che non vi sarebbe difficoltà ad ottenere delle comunicazioni anche sopra delle distanze maggiori, mentre che per distanze minori sono sufficienti delle lunghezze proporzionatamente minori delle linee parallele. Sfortunatamente, anche di queste lunghezze minori, secondo lo stesso Preece, spesso non si può disporre in quei casi, nei quali la comunicazione senza filo continuo sarebbe della massima importanza, vale a dire nel caso delle comunicazioni coi fari galeggianti o situati sopra delle roccie ristrette.

Del resto, i vantaggi delle linee parallele di fronte ai rocchetti orizzontali non sussisterebbero, secondo Stevenson [11], che per distanze piccole, mentre per distanze maggiori i rocchetti orizzontali converrebbero di più, tanto dal punto di vista dell' efficacia, quanto per la facilità di collocamento, specialmente quando si tratti di diametri un po' grandi, i fili in questo caso potendo disporsi direttamente sulla terra. Con due rocchetti, ciascuno di 200 *yards* di diametro e costituito da 9 giri di filo, la resistenza complessiva del primario essendo di 30, quella del secondario di 260 ohm, ed impiegando nel circuito primario una corrente di 0,23 ampère, lo Stevenson trasmise dei segnali ad una distanza di 870 *yards*, misurata fra i centri dei due rocchetti.

Secondo Stevenson, la distanza, alla quale si possono trasmettere dei segnali, aumenterebbe in proporzione della *radice quadrata* del diametro di ciascuno dei rocchetti, dimodochè, per raddoppiare la distanza, bisognerebbe raddoppiare quel diametro, e quindi la lunghezza del filo, in ciascuno dei rocchetti. Il Lodge [12], a dire il vero, trova una proporzione alquanto più favorevole, a condizione però che l' intensità della corrente nel circuito primario rimanga invariata, ed a questa condizione, con un rocchetto di lunghezza e per conseguenza anche di resistenza aumentata, non si può soddisfare se non impiegando una energia notevolmente maggiore, oppure aumentando, insieme alla lunghezza e nella stessa proporzione anche la sezione del filo nel circuito trasmettitore, onde mantenere invariata la resistenza. Ma allora le spese dell' impianto crescerebbero presto oltre misura. Si comprende perciò che il sistema preconizzato dallo Stevenson non sia mai entrato realmente in pratica.

44. **Telegrafia con apparecchi accordati.** — Per realizzare la trasmissione sopra delle distanze rilevanti, e senza ricorrere all' uso delle onde elettriche propriamente dette, il Lodge [13] si è servito della *sintonia* fra i due circuiti, ottenuta mediante l' inserzione di condensatori di capacità opportuna. Rinviamo il Lettore alla esperienza del Lodge descritta nel § 27, nella quale si hanno due bottiglie di Leida con circuiti in perfetta sintonia, per il principio su cui è fondato questo sistema di telegrafia senza filo, che costituisce un termine di passaggio, fra quelli basati sull' induzione, e quelli dei quali tratterà il capitolo seguente. In tale esperienza, la distanza fra i due circuiti non era che di pochi metri. Per ottenere effetti più intensi, e potere quindi trasmettere dei segnali a distanze più grandi, il Lodge, ai circuiti di chiusura semplici sostituisce, tanto nel trasmettitore quanto nel ricevitore, dei rocchetti di più giri, disposti generalmente in piani orizzontali. In causa della capacità gran-

dissima dei condensatori adoperati in luogo delle semplici bottiglie di Leida, e della forte autoinduzione dei rocchetti, il numero delle oscillazioni della scarica per minuto secondo, dall' ordine di grandezza di qualche milione appropriato alla produzione di scintille, scende a qualche migliaio od anche solo a qualche centinaio al minuto secondo, che è numero conveniente per un ricevitore telefonico. Di più, per ottenere quella durata dei segnali necessaria per differenziarli come i punti e le linee dell' alfabeto Morse, invece della macchina elettrica, che darebbe soltanto delle scariche brevissime, il Lodge nelle sue esperienze adoperò la corrente di un alternatore.

Nelle prime esperienze, il circuito trasmettitore consisteva in un cavo lungo $^1/_4$ di miglio, avvolto attorno ad un rettangolo di 150 per 30 *yards* di lato; quello ricevitore, fatto colla stessa lunghezza di filo, formava un rettangolo meno allungato, posto a circa 2 chilometri e mezzo di distanza dal primo. Come strumento ricevitore si adoperò un telefono comune, il quale però, meglio che alla frequenza fondamentale di 128 alternazioni al minuto secondo dell' alternatore, rispondeva alla frequenza di 384 alternazioni della terza oscillazione armonica di corrente, abbastanza intensa anch' essa in quella macchina. Per accordare i circuiti a questa frequenza, per la quale, del resto, anche l' orecchio possiede una sensibilità ben maggiore che per la nota bassa di 128 vibrazioni, si adoperarono delle autoinduzioni ausiliarie. Qualche esperienza fu fatta anche senza l' uso dei condensatori; ma, appunto per la mancanza di sintonia, non diedero che risultati negativi, laddove, coi condensatori e con una corrente di 10 o 12 e qualche volta di 20 ampère nel circuito trasmettitore, si ebbero dei segnali udibili sino a 2 miglia di distanza.

La disposizione di una stazione trasmettitrice, nella quale però, invece della corrente di un alternatore, si era adoperata quella di una batteria di accumulatori resa intermittente

mediante un interruttore a diapason, è rappresentata nella fig. 103. B è la batteria, F l'interruttore a diapason comandato da una elettrocalamita posta fra le sue branche e comunicante con una pila ausiliaria *b* ed il contatto M; H è il contatto a mercurio, che si chiude ed interrompe periodicamente colle vibrazioni del diapason; C è il rocchetto, S il condensatore messo in derivazione

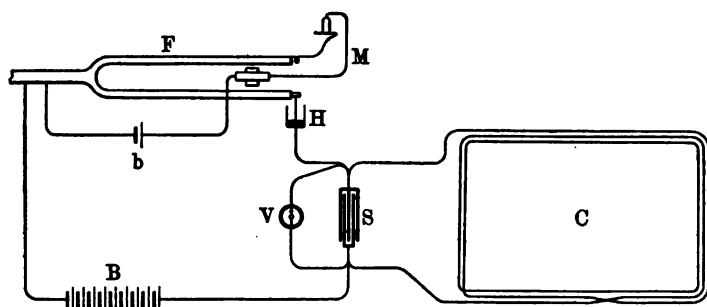



Fig. 103.

fra i capi del medesimo, e V un voltametro. Per chiudere la corrente durante i periodi più o meno lunghi richiesti per i segnali dell'alfabeto Morse, un tasto telegrafico era pure inserito nel circuito.

Calcolando l'intensità della corrente indotta, alla distanza di 100 chm. dal trasmettitore, con una lunghezza totale di 2 chm. di filo di rame di 2 cm. di spessore, ed una f. e. m. di 100 volta a 400 periodi al secondo, il Lodge trova, coll'induzione semplice, e cioè senza l'uso dei condensatori, un massimo di 0,0064 microampère (milionesimi di ampère), vale a dire una corrente incapace di agire sul telefono, mentre coll'inserzione di condensatori opportuni, l'intensità può salire sino a 500 microampère, ossia ad un valore più che sufficiente per una corrente telefonica. Sembrerebbe dunque che, anche coi telefoni comuni, la sintonizzazione dei circuiti dovesse rendere possibile la trasmissione sino a delle distanze molto grandi; tuttavia

il Lodge ha cercato di realizzare una sensibilità ancora maggiore, sia coll'uso di telefoni accordati per la nota musicale corrispondente alla frequenza delle oscillazioni nei due circuiti, sia colla costruzione di ricevitori speciali. Uno di questi, rappresentato in sezione nella fig. 104, ha come parte essenziale un rocchettino C portato da un filo teso EH, disposto fra i poli NN di una forte elettrocalamita M. Questo rocchettino, inserito nel circuito dell'apparecchio ricevitore, si mette a vibrare fra i poli della calamita, quando è percorso dalle correnti alternate generate per induzione dal trasmettitore, e comunicando le sue vibrazioni alla piastra risonante E, le rende udibili con una certa intensità, ancorchè le correnti stesse sieno debolissime. Invece di far agire le vibrazioni del rocchettino sopra una lastra sonora, il Lodge le trasmette anche ad un contatto microfonico provocandovi, nella maniera nota, delle variazioni di resistenza e delle fluttuazioni di corrente più grandi, le quali poi generano in un telefono dei suoni di maggiore intensità. La disposizione relativa è rappresentata schematicamente nella figura 105, nella quale C è il rocchettino sospeso al contatto microfonico M, e posto fra i poli di una elettrocalamita, B è la batteria del circuito telefonico, L un rocchetto d'auto-induzione senza ferro destinato a ricevere la maggior parte della corrente continua necessaria per il buon funzionamento del

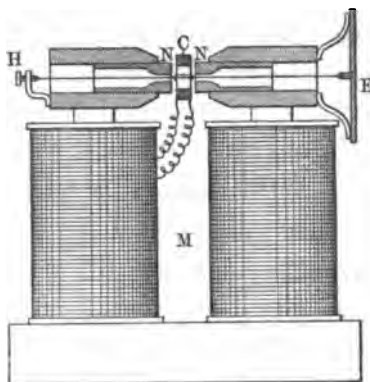
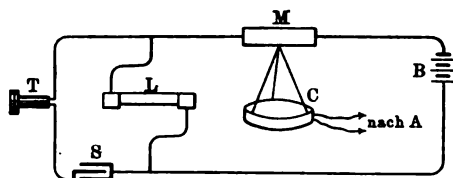



Fig. 104.

Fig. 105.

microfono, e per guidare invece attraverso il telefono T le fluttuazioni di corrente, alle quali questo deve rispondere. Qualche volta anche un condensatore S venne inserito nel circuito, allo scopo di rinforzare le oscillazioni di corrente di un dato periodo, e di indebolire invece tutte le altre.

Il Lodge infine, servendosi di un diapason accordato alla frequenza delle correnti destate per induzione dalla stazione trasmettitrice, ha costruito anche un apparecchio di chiamata, il quale, al primo arrivo dei segnali, mette in azione un campanello elettrico.

Secondo Lodge, la telegrafia per induzione con correnti alternate di bassa frequenza fra circuiti chiusi sintonizzati offrirebbe, di fronte alla telegrafia colle onde elettriche propriamente dette, diversi vantaggi, fra i quali quello, che delle masse conduttrici interposte fra le stazioni non costituiscono che un debole ostacolo alla trasmissione delle pulsazioni lente, mentre intercettano invece le onde elettriche. A questo si aggiunge la possibilità di aumentare gli effetti mediante l'uso di circuiti chiusi di grande estensione. Ma il primo di questi vantaggi sparisce in parte, in quanto che, sia in seguito alla diffrazione, sia per effetto di riflessioni, gli ostacoli anche conduttori non impediscono sempre la trasmissione delle onde elettriche. E di fronte all'altro vantaggio sta il fatto, che colla maggiore rapidità delle alternazioni, variandosi il rapporto fra le due specie di energia elettrostatica e magnetica, che sono spese nella stazione trasmettitrice, una maggior frazione di questa energia si diffonde nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche, cosicchè queste, anche senza che l'apparecchio ricevitore debba raccoglierle da una vasta superficie, possono produrre degli effetti sensibili. Realmente, dopo le prime esperienze, le quali si limitarono a distanze ben modeste, non si è saputo che il sistema descritto abbia fatto ulteriori progressi. Sembra anzi, che lo stesso Lodge lo abbia abbandonato, per attenersi invece

al sistema di trasmissione mediante le onde elettriche propriamente dette.

B. DESSAU.

Bibliografia.

[1]) Steinheil. Heber Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte. Munchen, 1838.

[2]) I dati storici di questo capitolo sono in parte tolti dal libro di Fahie: History of Wireless Telegraphy, 1.ª ed., Londra, 1899.

[3]) Rathenau. Elektrotechn. Ztschr., t. 15, p. 616, 1894.

[4]) Strecker. Elektrotechn. Ztschr., t. 17, p. 106, 1896.

[5]) The Nature, 12 gennaio 1902, p. 129; Scient. Am. 1902, p. 10.

[6]) Ducretet. Comptes Rendus, t. 134, p. 92, 1902.

[7]) Brown. The Electrician, 21 marzo 1883.

[8]) W. Smith. Institution of Electrical Engineers, 8 novembre 1883.

[9]) Sui lavori di Preece, v. British Ass. Rep. 1886 e 1894; come pure The Electrician, t. 33, p. 460, 1894; t. 42, p. 405, 1899.

[10]) Evershed. Electrician, t. 42, p. 332, 1899.

[11]) Stevenson. The Engineer, 24 marzo 1892; Jour. of the Inst. of Elect. Engineers, n. 139, p. 951.

[12]) Lodge. Electrician, t. 42, p. 270, 1898.

[13]) Lodge. Electrician, t. 92, p. 269, 309, 366 e 402, 1898-99.

CAPITOLO II

La telegrafia colle onde elettriche.

45. **Proposte e primi tentativi.** — Fu nel 1888 che Hertz eseguì le celebri sue esperienze, colle quali la teoria di Maxwell da geniale concezione matematica passò nell'ordine dei fatti stabiliti. Per la prima volta delle onde elettromagnetiche, generate e riconosciute come tali, furono trasmesse attraverso lo spazio, e furono studiate le leggi della loro propagazione ed il loro modo di manifestarsi.

Circa un anno dopo, e cioè il 3 dicembre 1889, Hertz, rispondendo all'ing. H. Huber di Monaco, che gli aveva chiesto se riteneva possibile la trasmissione a distanza del linguaggio telefonico per mezzo delle sue onde elettriche, egli si pronunciò in senso negativo, motivando la sua opinione colla soverchia lentezza delle variazioni di corrente nel telefono di fronte al periodo delle oscillazioni elettriche. Sulla possibilità o meno di una telegrafia senza filo, basata sull'impiego delle onde elettriche, il grande scienziato in quella lettera non si pronunciò affatto, per il semplice motivo che una simile domanda non gli era stata fatta. Cadono perciò le interpretazioni troppo vaste, che si vollero dare a quella lettera; ma non ci sembra, che si farebbe torto al suo autore ammettendo che la sua risposta, anche ad una domanda fatta in senso più generale, sarebbe stata ugualmente negativa. Mancavano, infatti, a quell'epoca od almeno non erano ancora affatto riconosciuti nel loro vero significato e nella loro portata, dei mezzi abbastanza sensibili per constatare la presenza di onde elettriche di debole intensità.

Veramente, all'epoca alla quale fu scritta quella lettera, erano già passati diversi anni dacchè lo scienziato americano D. E. Hughes, non solo aveva costruito ed adoperato quell'apparecchio, il quale in seguito, inventato nuovamente da altri, ricevette il nome di *coherer* o di *radioconduttore*, ma col suo aiuto aveva anche ottenuto la trasmissione di segnali sino a distanze abbastanza rilevanti, ed aveva interpretato nel modo giusto il meccanismo e la causa del fenomeno. Ma quelle esperienze non erano state pubblicate; e solo di recente, in una lettera rivolta dietro una sua domanda a J. J. Fahie e pubblicata da questo nella sua storia della telegrafia senza filo [1], Hughes ne diede una descrizione estesa. In questa lettera, della quale riteniamo interessante, anche dopo il cenno fattone in altro luogo, riprodurre i brani più importanti, Hughes si esprime così:

« Nel 1879, nel corso di certe esperienze col mio microfono e colla mia bilancia ad induzione, ebbi a constatare, che certe volte non potei ottenere, per causa di apparenti difetti d'isolamento nei rocchetti, un perfetto equilibrio nella bilancia ad induzione; un ulteriore esame mi fece però riconoscere, che la causa vera stava in qualche contatto imperfetto oppure in qualche giunto microfonico formatosi in qualche parte del circuito. Ricorrendo allora al microfono trovai, che questo dava una corrente ed un suono nel ricevitore telegrafico, sia che esso fosse inserito direttamente nel circuito, sia che fosse collocato indipendentemente alla distanza di qualche piede dai rocchetti, attraverso i quali passava una corrente intermittente. Dopo numerose esperienze trovai, che l'effetto era dovuto esclusivamente all'estracorrente prodotta nel rocchetto primario della bilancia ad induzione.

» Ulteriori esperienze mostrarono, che una corrente intermittente in un rocchetto produceva, ad ogni sua interruzione, delle estracorrenti così intense, che l'intiera atmosfera nell'ambiente come pure in alcuni ambienti lontani riceveva una carica istantanea invisibile, la quale si rendeva manifesta adoperando come ricevitore un giunto microfonico assieme ad un telefono. Ciò m'indusse a fare delle esperienze sulla migliore forma di un ricevitore per queste onde elettriche, le quali evidentemente penetravano sino a grandi distanze, traversando tutti gli ostacoli apparenti, come i muri ecc. Trovai, che tutti i contatti o giunti microfonici erano estremamente sensibili. Quelli formati con un carbone duro, come il coke, oppure con una combinazione di un pezzo di coke appoggiato sopra un pezzo d'acciaio lucido, erano assai sensibili, e ricuperavano spontaneamente lo stato primitivo, mentre un contatto imperfetto fra metalli, sebbene ugualmente sensibile, acquistava coesioni (*would cohere*) o costituiva un contatto perfetto dopo il passaggio di un'onda elettrica....

«.... Il ricevitore più sensibile e più perfetto, che io abbia fatto, non entra in coesione permanente, ma ricupera istantaneamente la sua condizione primitiva e perciò non richiede delle scosse od altri mezzi meccanici per separare i contatti, dopo che essi momentaneamente furono portati in unione intima.

» Presto trovai che, mentre una scintilla invisibile produceva nei contatti microfonici una corrente termoelettrica (sufficiente per essere intesa nel telefono inserito nel circuito), era assai meglio e più efficace il far uso nel circuito ricevitore di una debole coppia voltaica, nel qual caso il giunto microfonico faceva da soccorritore, giacchè la resistenza al contatto diminuiva sotto l'influenza delle onde elettriche ricevute attraverso l'atmosfera.

» Non starò a descrivere le numerose forme di trasmettitori e ricevitori che feci nel 1879, registrati tutti in diversi volumi di manoscritti di quell'anno, i quali non furono mai pubblicati, ma in massima parte sono tuttora visibili alla mia residenza; mi limiterò ad alcuni fra i punti più salienti. Trovai che degli impulsi particolarmente improvvisi, sia che venissero emessi nell'atmosfera per mezzo dell'estracorrente di un rocchetto oppure per mezzo di una macchina elettrica a strofinamento, agivano nello stesso modo sul contatto microfonico, l'effetto dipendendo più dall'improvvisa azione del potenziale elevato che da una influenza prolungata. Così, una scintilla ottenuta strofinando un pezzo di ceralacca aveva la stessa efficacia della scarica di una bottiglia di Leida dello stesso potenziale. Tanto la ceralacca strofinata quanto la bottiglia di Leida erano senza effetto, sinchè esse non venivano scaricate con una scintilla, ed era evidente che questa scintilla, per quanto debole, agiva su tutta l'atmosfera ambiente sotto forma di onde o raggi invisibili, le leggi dei quali a quell'epoca non seppi determinare.... Nel 1879, mentre facevo queste esperienze sulla trasmissione aerea, avevo da risolvere due problemi differenti: 1.° quale fosse la vera natura di queste onde elettriche aree, le quali, per quanto invisibili, sembravano ren-

dere illusoria qualunque idea di isolamento, penetrando nello spazio sino a distanze non determinate; 2.° di scoprire il migliore ricevitore il quale potesse agire sopra un telefono o strumento telegrafico, in modo che si fosse capaci di utilizzare (ove fosse richiesto) queste onde per la trasmissione di messaggi. Il secondo problema mi riuscì facile, allorchè trovai che soltanto il microfono, che avevo previamente scoperto negli anni 1877-78, aveva la proprietà di rendere evidenti, sia con un telefono sia con un galvanometro, queste onde invisibili, e sino al giorno d'oggi non conosco nulla, che si avvicini alla sensibilità di un giunto microfonico, che funziona da ricevitore ».

Dopo aver nominato diversi scienziati i quali, alla fine del 78 e '79 ed in principio del 1880, come anche più tardi nel 1888, erano andati, dietro suo invito, a vedere le sue esperienze ed a convincersi dei risultati ottenuti, l'autore della lettera continua:

« Tutti videro delle esperienze, del genere già descritto, sulla trasmissione aerea per mezzo dell'estracorrente prodotta da un piccolo rocchetto e ricevuta mediante un microfono semi-metallico, i risultati essendo udibili in un telefono connesso col microfono ricevitore. Il trasmettitore ed il ricevitore si trovavano in ambienti differenti, distanti circa 60 piedi l'uno dall'altro. Dopo aver provato con successo tutte le distanze possibili nella mia abitazione di Portland Street, il mio metodo usuale era di mettere in opera il trasmettitore e di camminare su e giù, per la via di Great Portland Street, col mio ricevitore in mano e col telefono all'orecchio.

» Sembrava che i suoni aumentassero lievemente d'intensità per una distanza di 60 *yards;* dopo essi diminuivano gradualmente, sicchè alla distanza di 500 *yards*, non potevo più sentire con certezza i segnali trasmessi. Un fatto rimarchevole, che colpì la mia attenzione, fu questo: di fronte a certe case io udivo meglio i segnali, mentre presso altre i segnali erano appena percettibili. La scoperta, fatta da Hertz (1887-89), di punti nodali

nelle onde riflesse, mi ha spiegato ciò, che allora mi era sembrato un mistero.

» Nella fabbrica di apparecchi telegrafici di A. Stroh il Sig. Stroh ed io stesso potemmo udire perfettamente le correnti trasmesse dal terzo piano al pianterreno, ma alla mia abitazione distante un miglio non fui capace di scoprire segnali distinti. Le innumerevoli tubazioni da gas ed acqua frapposte sembravano assorbire od indebolire troppo le deboli estracorrenti trasmesse da un piccolo rocchetto.

» Il Presidente della Royal Society, Sig. Spottiswoode, assieme ai due segretari Prof. Huxley e Prof. G. Stokes, venne a trovarmi il 20 febbraio 1880 per vedere le mie eperienze sulla trasmissione aerea di segnali. Le esperienze mostrate ebbero pieno successo, ed in principio essi sembravano sorpresi dai risultati; ma sul finire di tre ore di prove il Prof. Stokes disse, che tutti i risultati potevano spiegarsi per mezzo dei noti effetti d'induzione elettromagnetica, per cui egli non poteva accettare le mie idee riguardo all'esistenza di onde elettriche aeree, sconosciute a quell'epoca; tuttavia egli riteneva, che io avevo del materiale originale perfettamente sufficiente per fare sull'argomento una pubblicazione da comunicarsi alla Royal Society.

» Rimasi talmente scoraggiato, per non essere stato capace di convincerli dell'esistenza reale di queste onde elettriche aeree, che al momento rifiutai di scrivere una nota in proposito, sinchè non fossi meglio preparato a dimostrare l'esistenza di queste onde; e continuai le mie esperienze per alcuni anni, nella speranza di giungere ad una perfetta dimostrazione scientifica dell'esistenza di onde elettriche aeree generate per mezzo di una scintilla dall'estracorrente di un rocchetto, oppure di una macchina a strofinamento, o da rocchetti secondari ».

Questa « perfetta dimostrazione scientifica dell'esistenza di onde elettriche », davanti alla quale si erano arrestati l'ingegno e l'abilità sperimentale dell'inventore del microfono, rimase

riservata al genio di Enrico Hertz. D'altra parte però è dovere di giustizia il riconoscere che, mentre assai probabilmente questo, coi mezzi grossolani di cui allora si disponeva, non avrebbe ritenuto possibile, che colle onde elettriche si producessero degli effetti sensibili e si trasmettessero dei segnali al di là di piccole distanze dall'origine delle onde, questi effetti in realtà erano già stati ottenuti da Hughes. Essi erano stati preveduti, indipendentemente da questo e su una scala assai più grandiosa, con una imaginazione da poeta frenata appena dalla logica dello scienziato, dal celebre fisico inglese W. Crookes. Questi, infatti, in un articolo intitolato: « Alcune possibilità dell'elettricità », inserito nel fascicolo di febbraio 1892 della «Fortnightly Review», scrive quanto segue:

« Se delle onde eteree più lunghe, quali l'occhio non le percepisce, agiscano continuamente attorno a noi, sino a poco tempo fa non fu mai esaminato seriamente. Ora però le ricerche di Lodge in Inghilterra e di Hertz in Germania ci rivelano una abbondanza quasi illimitata di fenomeni eterei o raggi elettrici, le lunghezze d'onda dei quali variano da migliaia di miglia a pochi piedi. Qui si apre davanti a noi un mondo nuovo, stupefacente, del quale difficilmente possiamo credere, che esso non debba contenere anche la possibilità di una trasmissione del pensiero. I raggi luminosi non penetrano attraverso un muro e nemmeno, come purtroppo sappiamo, attraverso una nebbia londinese. Ma delle onde elettriche di un metro o più di lunghezza passeranno facilmente attraverso queste sostanze, le quali di fronte ad esse saranno trasparenti. Si presenta così l'attraente possibilità di una telegrafia senza fili, senza pali, senza cavi, senza tutti gli accessori costosi. Ammettendo come risolubili soltanto alcuni quesiti ragionevoli, il problema si trova perfettamente entro il campo del possibile. Siamo oggi in grado di produrre delle onde elettriche di qualunque lunghezza richiesta, da pochi piedi in su; e siamo in grado di ottenere una successione di onde simili irra-

dianti in tutte le direzioni dello spazio. Certuni fra questi raggi, se non tutti, si possono anche rifrangere per mezzo di corpi di forma adatta, che agiscono come lenti, proiettando un fascio di raggi in qualunque direzione determinata; furono adoperate per questo scopo delle grandi masse lenticolari di pece e di sostanze simili. Nei luoghi lontani alcuni di questi raggi, se non tutti, si potrebbero raccogliere mediante apparecchi di costruzione particolare, e si potrebbero trasmettere ad un'altra persona dei segni convenuti in caratteri Morse....

» Due amici, i quali si trovino entro i limiti di reazione dei loro ricevitori, potrebbero, accordando i loro apparecchi a lunghezze d'onda particolari, comunicare fra di loro quando loro piacesse coi segni dell'alfabeto Morse trasmessi mediante radiazioni di maggiore o minore durata. A prima vista contro questo progetto si potrebbe obbiettare l'impossibilità di tener segrete le comunicazioni. Supponiamo che le due parti si trovino ad un miglio di distanza l'una dall'altra; allora i raggi emessi in tutti i sensi dal trasmettitore verrebbero a riempire una sfera del raggio di 1 miglio, e chiunque si trovasse entro questa distanza dal trasmettitore potrebbe raccogliere la comunicazione. Ciò però si potrebbe evitare in due modi. Ove le posizioni del trasmettitore e del ricevitore fossero determinate con precisione, si potrebbe, più o meno sicuramente, concentrare i raggi sul ricevitore. Nel caso invece che, il trasmettitore ed il ricevitore essendo mobili, non fosse possibile l'uso di lenti, i due corrispondenti dovrebbero accordare i loro apparecchi ad una stessa lunghezza d'onda, per esempio di 50 metri. Suppongo che nuove scoperte abbiano fornito degli apparecchi, i quali movendo una vite, oppure facendo variare la lunghezza di un filo, si possano regolare in modo da renderli adatti a ricevere delle onde di lunghezza stabilita. Ove essi siano regolati, p. e. per 50 metri, il ricevitore raccoglierà soltanto delle onde, la cui lunghezza sia compresa fra 45 e 55 metri, mentre per tutte le altre sarà insensibile. Pensando che

si dispone di un gran numero di lunghezza d'onda da pochi piedi sino a migliaia di miglia, il segreto appare realizzabile, giacchè un curioso, per quanto instancabile, certamente rifuggirebbe davanti al cómpito di tentare tutti i milioni di lunghezze d'onda possibili per incontrare finalmente e per caso quella, della quale si servono coloro, i cui segreti egli vorrebbe scoprire. Mediante segnali convenuti si potrebbe escludere infine anche questa possibilità. Questo non è un semplice sogno d'un filosofo visionario. Tutti i requisiti necessari per portarlo nell'ambito della vita giornaliera sono entro le possibilità di scoperta, e sono così ragionevoli e così chiaramente sulla via delle ricerche, ora attivamente compiute in ogni capitale d'Europa, che possiamo aspettarci di giorno in giorno di sentire, che essi sono usciti dal regno della speculazione per entrare in quello dei fatti. Anche ora, tuttavia, il telegrafare senza filo è possibile entro un ristretto raggio di poche centinaia di *yards*, ed alcuni anni fa ho assistito io stesso ad esperienze, nelle quali dei telegrammi furono trasmessi da una parte di una casa ad un altra senza comunicazione con fili, con mezzi quasi identici a quelli qui descritti » [1].

Tuttavia, se non si fosse trovato quel meraviglioso strumento rivelatore delle onde, che abbiamo riconosciuto nei contatti sensibili o radioconduttori, le previsioni di Crookes sarebbero forse rimaste « un semplice sogno ». Il primo, se facciamo astrazione dalle esperienze di Hughes rimaste senza seguito, ad utilizzare le proprietà di questi contatti per la trasmissione di segnali, fu l'inglese Lodge. Fin dal 1893 egli aveva studiato le onde elettriche coll'aiuto del suo coherer, inserito nel circuito di un galvanometro assieme ad una pila, e di un movimento d'orolo-

[1] Delle idee simili a quelle di Crookes furono espresse, fin dal 1870, anche dal prof. Threlfall di Sidney.

geria il quale, scuotendo leggermente il tubo del coherer, gli ripristinava la resistenza primitiva diminuita dall' influenza delle onde. Con questi apparecchi, la presenza delle onde fu constatata sino a 40 *yards* di distanza dalla loro origine. In una conferenza fatta nel 1894 alla riunione dell' Associazione Britannica ad Oxford il Lodge ritenne essere un mezzo miglio (800 m.) il limite della distanza, alla quale il suo coherer sarebbe ancora influenzato dalle onde; e sebbene più tardi egli protestasse contro l'interpretazione troppo generica data a questo apprezzamento, che egli aveva inteso applicare unicamente agli strumenti allora da lui adoperati, fatto sta, che egli non aveva cercato di realizzare una trasmissione neppure sino a quel limite, nè gli era venuta l' idea di sostituire al galvanometro un soccorritore telegrafico od apparecchio Morse, perchè, come egli stesso ammette, non aveva pensato, che in certi casi potesse esservi vantaggio a telegrafare attraverso lo spazio colle onde anzichè mediante dei fili colle correnti ordinarie.

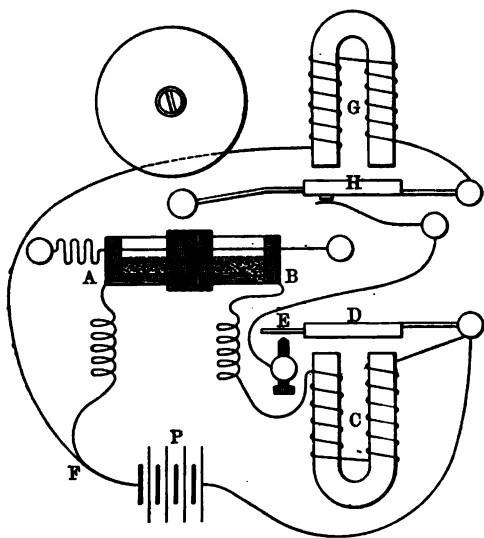



Fig. 106

Ad altri invece questo vantaggio, a quanto sembra, non era sfuggito; e così A. Muirhead fece nel 1894 delle esperienze, nelle quali adoperò l'apparecchio telegrafico a sifone di Lord Kelvin, ed il capitano Jackson, secondo una notizia datane dal Sig. Preece [4], riuscì a scambiare nel 1895 dei telegrammi fra navi vicine mediante onde elettriche.

46. **Esperienze di Popoff.** — Nell'aprile del 1895 il prof. Popoff, dell'Accademia militare di Kronstadt, fece conoscere alla Società fisico-chimica russa un apparecchio da lui inventato, per mezzo del quale riesciva a registrare le scariche atmosferiche. La disposizione adottata è rappresentata nella fig. 106, e comprende anzitutto un tubo a limatura (coherer o radioconduttore) AB, inserito nel circuito d'una pila P insieme all'elettrocalamita C di un soccorritore o *relais*. Quando la limatura, per azione di onde elettriche, diviene conduttrice, l'ancora D è attratta dall'elettrocalamita C, con che si stabilisce il contatto E, che chiude il circuito derivato FGE comprendente l'elettrocalamita G d'un campanello elettrico. L'ancora H è allora attratta, ed il martellino che essa porta percuote la campana; ma subito ricade, ed urtando il tubo a limatura, lo scuote abbastanza, perchè ricuperi la resistenza iniziale. In tal modo l'apparecchio, dopo aver avvertito dell'arrivo dell'onda col suono del campanello, è *automaticamente* restituito alla condizione primitiva, e messo così in grado di registrare una nuova onda.

Le onde, che dovevano agire, erano quelle generate dalle scariche atmosferiche, e, per renderne manifesta l'azione, una delle estremità del tubo sensibile AB veniva messa in comunicazione coll'asta di un parafulmine oppure con un semplice filo verticale sorretto in modo opportuno, mentre l'altra estremità era messa in comunicazione colla terra. La registrazione si otteneva per mezzo di un apparecchio Richard messo in derivazione sul circuito della suoneria. Per evitare che il radioconduttore venisse influenzato dalle onde elettriche, che potevano essere generate dalle scintille d'interruzione del soccorritore e della suoneria, esso veniva rinchiuso in una scatola metallica.

Descritto l'apparecchio ed in particolare il coherer a limatura di ferro, il Popoff così si esprime:

« Adoperando un soccorritore sensibile nel circuito del coherer, ed un ordinario campanello elettrico posto in un circuito deri-

vato, per avere dei segnali acustici o per impartire automaticamente delle scosse al coherer, ottengo un apparecchio, il quale con precisione risponde ad ogni onda elettrica con un breve scampanellio, e con dei colpi ritmici, se le oscillazioni elettriche vengono eccitate in modo continuo....

« Sostituendo, nel tubo del coherer, alla limatura di ferro uno strato d'acciaio, vengo ad avere un buon coherer, col quale se lavoro con un oscillatore di Hertz con sfere di 30 cm. di diametro e coll'ordinario soccorritore di Siemens e Halske, posso scoprire delle onde elettriche alla distanza di 1 chm. Coll'oscillatore di Bjerknes, del diametro di 90 cm. e con un soccorritore più sensibile, raggiungo un buon risultato sino a 5 chm.... »

Come si vede, i caratteri nuovi dell'apparecchio di Popoff consistono nell'uso di un campanello o martello elettrico per ripristinare *automaticamente* la restistenza del coherer, e della così detta *antenna*, vale a dire del conduttore verticale, come ricevitore delle onde.

Più tardi, in una nota del 5 dicembre 1895, il Popoff esprimeva la fiducia di ottenere delle comunicazioni regolari per mezzo delle onde elettriche, quando egli avesse perfezionato il suo apparecchio mediante un generatore di onde abbastanza potente. Avrebbe bastata però l'aggiunta dell'antenna all'oscillatore, perchè il Popoff avesse ottenuto il suo scopo. Ma ciò che egli non fece, fu più tardi fatto dal Marconi, come si vedrà fra poco.

47. **Il sistema Marconi.** — Non è nostra intenzione, in questo capitolo, di rifare o di rettificare i racconti, e si potrebbe quasi dire le leggende, che si sono formate attorno alla persona ed all'opera del giovine inventore italiano; nè cercheremo di decidere la quistione della priorità o dell'*originalità* delle sue *invenzioni*, la diversità delle opinioni in proposito dipendono più

che altro dal significato e dalla definizione che si danno a quei due vocaboli.

Infatti, se all'apparecchio produttore delle onde descritto da Marconi nel primo suo brevetto e rappresentato nella fig. 107 confrontiamo quello a tre scintille del Righi (v. pag. 166, 168, 169, figg. 62, 66, 67, 68); riscontriamo fra di essi una identità perfetta. Le onde elettriche, nell'uno come nell'altro, hanno la loro origine nelle scariche che si stabiliscono fra due sfere metalliche affacciate, mediante una breve scintilla in un liquido

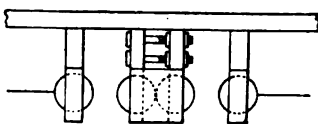



Fig. 107.

isolante, mentre le necessarie cariche vengono fornite alle due sfere per mezzo di scintille, che passano fra queste ed altre due, comunicanti coi poli di una sorgente di elettricità. D'altra parte, l'apparecchio ricevitore sensibile alle onde non è altro che il tubo a limatura di Calzecchi Onesti od il coherer di Lodge. Ed anche l'impiego del soccorritore per chiudere un circuito locale, e del martellino da campanello per ristabilire automaticamente la resistenza della limatura, come pure l'aggiunta dell'antenna all'apparecchio ricevitore, trovansi già nell'apparecchio di Popoff, il quale li descrisse in una pubblicazione del 1895, mentre Marconi chiese il suo primo brevetto il 2 giugno 1896. Nei dettagli essenziali del suo apparecchio, il Marconi, come vediamo, ha avuto dunque dei predecessori, dimodochè la sua invenzione, stando anche alle stesse sue parole nella descrizione di quel brevetto, si riferisce in gran parte alla maniera nella quale gli apparecchi sono costruiti e connessi fra di loro. Nè, secondo quanto abbiamo visto nei paragrafi precedenti, gli si potrebbe concedere la priorità nell'idea di trasmettere a distanza dei dispacci per mezzo di quegli apparecchi. Ma gli rimane il merito indiscutibile di aver preso una audace iniziativa, laddove da altri non erano state fatte che delle timide proposte, e di avere trasportato nel campo pratico ciò, che altri

avevano soltanto intravveduto o realizzato in scala minore. Ma l'ingegno e le facoltà inventive sue si rivelarono pienamente più tardi; per l'abilità colla quale vinse le numerose difficoltà, e per tante modificazioni ed aggiunte di dettaglio in gran parte essenziali per il successo pratico, che furono da lui introdotte e riunite in quell'insieme, che a ragione può chiamarsi il *sistema Marconi*.

Le parti principali di questo sistema, secondo la descrizione che ne dà il Marconi nel primo suo brevetto, sono le seguenti.

Per generare le onde elettriche, il Marconi, almeno in principio, si serviva, come già abbiamo visto, dell'oscillatore Righi alimentato da un rocchetto Ruhmkroff, nel circuito primario del quale era inserito, oltre la pila o la batteria di accumulatori e l'interruttore solito, anche un tasto Morse, destinato a chiudere il circuito, ed a provocare l'emissione delle onde durante intervalli più o meno lunghi corrispondenti alle linee ed ai punti dell'alfabeto Morse. L'interruttore era del solito tipo automatico, colla modificazione soltanto che, per assicurare un funzionamento regolare, uno dei pezzi di platino, fra i quali avvengono i contatti, era fissato all'estremità di un piccolo cilindro mantenuto in rotazione attorno al proprio asse, per mezzo di un piccolo motore elettrico. Il rocchetto era capace di dare delle scintille di 8 pollici (circa 20 cm.); ma fra le sfere di mezzo, di 4 pollici di diametro, immerse in olio di vaselina reso più denso coll'aggiunta di vaselina solida, la distanza non era che di $^1/_{25}$ od $^1/_{30}$ di pollice, mentre fra queste sfere e quelle esterne le distanze erano di 1 pollice ciascuna. Con queste disposizioni, la lunghezza delle onde emessa, secondo Marconi, sarebbe stata di 16 pollici.

L'oscillatore, come nelle esperienze di Righi, veniva il più delle volte collocato nella linea focale di un riflettore cilindrico a forma parabolica di lastra di rame; un riflettore identico, e disposto in modo analogo, si trovava alla stazione rice-

vitrice. Soltanto quando si trattava di superare delle distanze considerevoli, invece della disposizione col riflettore, Marconi riteneva preferibile quella della figura 108, nella quale le t_2 sono delle capacità in forma di lastre metalliche, sospese mediante fili isolanti. Delle lastre identiche erano unite anche al ricevitore, e la distanza, alla quale la trasmissione si poteva ottenere, sarebbe stata, secondo Marconi, tanto maggiore, quanto più grandi e più distanti dalla terra, come anche fra di loro, erano le lastre nelle due stazioni. Infine, nei casi di ostacoli esistenti fra queste, Marconi preferiva la disposizione delle figure 109 e 110, ossia una sola lastra sospesa per mezzo di qualche isolatore ad

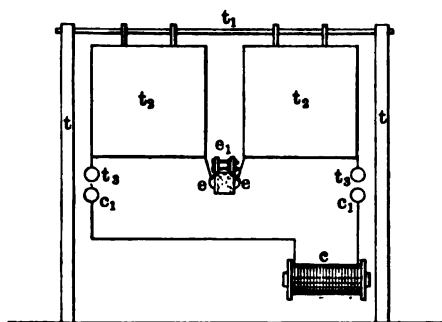
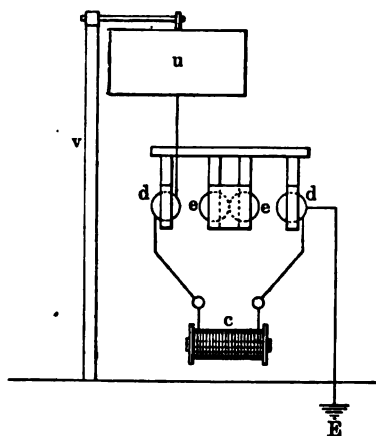



Fig. 108.

Fig. 109.

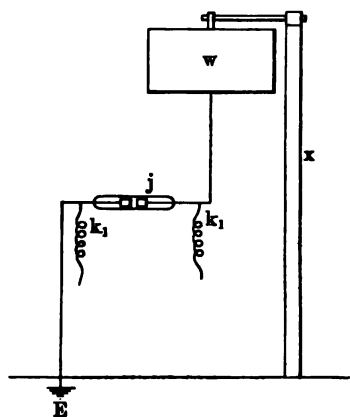



Fig. 110.

un alto palo, e congiunta, mediante un filo metallico, con una estremità dell' eccitatore nell' una, e del ricevitore nell'altra delle stazioni, mentre le altre estremità comunicavano colla

terra. La lastra metallica, invece di essere piana, veniva anche piegata a cilindro chiuso in alto, e collocata sulla cima del palo a guisa di cappello. Quanto più grande era l'altezza sul suolo di queste lastre o di questi cilindri, altrettanto maggiori erano anche le distanze, alle quali si poteva comunicare; cosicchè Marconi, accortosi che l'essenziale non era la capacità all'estremità del filo ma soltanto la lunghezza di quest'ultimo, finì coll'abbandonare completamente tale capacità, e dare semplicemente alle antenne la forma di fili verticali sorretti da pali, od anche, nel caso che occorressero delle lunghezze molto grandi, da palloni o cervi volanti.

Un'altra forma dell'oscillatore, con quattro sfere uguali montate entro un tubo d'ebanite, si vede nella fig. 111. Anche qui l'intervallo fra le due sfere di mezzo contiene dell'olio. In

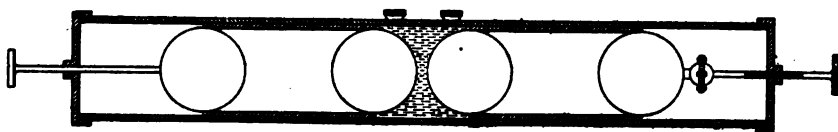



Fig. 111.

seguito però, essendosi creduto che l'uso dell'olio non offrisse quei vantaggi che si supponevano, o che almeno la sua presenza non fosse necessaria per il buon funzionamento dell'oscillatore, esso fu abbandonato; nello stesso tempo si semplificò anche l'apparecchio produttore delle onde, il quale finalmente venne ridotto al sistema dei soliti eccitatori dei rocchetti d'induzione, vale a dire a due aste metalliche, congiunte coi capi del filo secondario del rocchetto e munite di manici isolanti, mentre le loro estremità affacciate terminano in sfere metalliche, fra le quali avvengono le scariche produttrici delle onde. La lunghezza delle scintille si regola colla massima comodità, e non occorre altro per assicurare il buon funzionamento di questo eccitatore, che di mantenere pulite le superfici metalliche affacciate.

Al posto ricevitore, le parti essenziali sono il tubo a limatura o coherer riunito a certi accessori di cui si parlerà in seguito, e collocato nella linea focale di un riflettore, oppure connesso, da un lato all'antenna o filo aereo, dall'altro alla terra, ed inserito in pari tempo nel circuito di un soccorritore sensibile attivato da una pila piuttosto debole. Il socorritore chiude il circuito di una pila più forte, sul quale sono messi in derivazione fra di loro, una specie di suoneria elettrica, collocata in modo che il suo martellino, ogni qualvolta viene attratto dall'elettrocalamita, dia un lieve colpo contro il coherer, ed un ricevitore telegrafico Morse.

Delle cure speciali furono dedicate da Marconi al perfezionamento del coherer, il quale nelle sue mani divenne assai più sensibile e di funzionamento più sicuro. Anzi tutto ne furono ridotte di molto le dimensioni. In un tubo di vetro (fig. 112) lungo da 4 a 6 cm. e del diametro interno di 3 o 4 mm. si trovano due cilindri d'argento, che lo chiudono quasi esattamente, e colle estremità affacciate ben piane e parallele separate da un intervallo di circa mezzo millimetro riempito con limatura metallica. A formare questa limatura si prestano diversi metalli, ma il meglio è, secondo Marconi, adoperare un miscuglio di 96 % di limatura di nichel con 4 % di limatura d'argento, destinata quest'ultima ad aumentare in forte grado la sensibilità di fronte alle onde elettriche. Con una proporzione più grande d'argento si aumenta ancora la sensibilità a spese però della sicurezza del funzionamento, mentre una minima quantità di mercurio, sufficiente appena per amalgamare le faccie terminali dei cilindri contribuisce anch'essa ad aumentare la sensibilità. La larghezza dell'intervallo fra i cilindri può variare entro certi limiti: più largo lo si fa, e più grossi bisogna scegliere anche i grani della

Fig. 112.

limatura. In generale però la sensibilità riesce maggiore con un intervallo fra i cilindri piuttosto piccolo, e si trova conveniente la larghezza di un mezzo millimetro, della quale già abbiamo parlato. Adattate a questa larghezza debbono quindi essere le dimensione dei grani della limatura, la quale si prepara con una lima non troppo fina e in precedenza pulita con cura, onde eliminare ogni traccia di sostanze untuose. Facendo passare la limatura attraverso dei setacci se ne eliminano poi tanto i grani troppo grossi quanto la polvere troppo fina, onde non restino che dei grani di grandezza media e per quanto è possibile uniforme. La quantità di polvere, che si introduce nell' intervallo fra i cilindri, deve essere tale, che essa non risulti compressa, e che rimanga ai singoli grani una certa libertà di movimento, quando il tubo è colpito dal martellino. Per le comunicazioni vi sono due fili di platino attaccati ai cilindri e saldati nella parete del tubo; il quale infine, congiunto ad una pompa mediante un ramo laterale, viene vuotato dall'aria contenuta sino a ridurne la pressione a circa un millesimo di atmosfera, e poi chiuso alla lampada.

Un tubo preparato colle debite precauzioni può dirsi bene riuscito, quando si mostra sensibile all'induzione esercitata dalle correnti di un ordinario campanello elettrico posto alla distanza di 1 o 2 metri; la sua resistenza, la quale allo stato non perturbato dalle onde è praticamente infinita, deve discendere fino a 500 o anche a 100 ohm.

Per mantenere il tubo in buone condizioni, Marconi consiglia di non farlo mai attraversare da una corrente superiore ad un milliampère, e di ricorrere, quando occorrano correnti più intense, ad un sistema di tubi messi in parallelo, fra i quali la corrente si suddivida. In altro punto il Marconi annuncia di essere in grado di costruire tubi a più scompartimenti, capaci di funzionare anche con pile aventi forza elettromotrice non tanto piccola. Ma sembra, che la pratica non abbia sanzionato nè l'uno nè l'altro di questi espedienti, cosicchè si preferisce far uso di

correnti deboli, affidando soltanto al coherer il còmpito di attivare un soccorritore assai sensibile, il quale poi dal canto suo chiude il circuito di una pila più energica o di una batteria di accumulatori. I primi soccorritori adoperati da Marconi, i quali funzionavano appunto con correnti di 1 milliampère, avevano 1000 ohm di resistenza; la stessa resistenza si dava anche all'elettrocalamita dell'apparecchio telegrafico ed a quella che comanda il martellino. Quest'ultima era disposta in maniera, che i colpi del martellino contro il tubo del coherer fossero diretti alquanto dal basso in alto.

Dopo quanto abbiamo detto, il funzionamento degli apparecchi descritti richiede appena due parole di spiegazione. Abbassando il tasto telegrafico alla stazione trasmettitrice si fa agire il rocchetto d'induzione, e si provoca l'emissione di onde elettriche, le quali, mandate approssimativamente in una determinata direzione quando l'oscillatore è provvisto di un riflettore oppure disseminate in tutti i sensi dall'antenna, vanno a cadere sullo specchio dell'apparecchio ricevitore ovvero sull'antenna raccoglitrice, e per mezzo dell'uno o dell'altra raggiungono il coherer. Questo allora diventa conduttore, e si stabilisce nel suo circuito una corrente, la quale mette in azione il soccorritore; per opera di questo si chiude il circuito della pila principale e viene attratta dalla sua elettrocalamita l'àncora dell'apparecchio telegrafico. Nello stesso tempo entra in funzione anche il martellino, attratto dalla sua elettrocalamita, il quale, picchiando contro il tubo del coherer, gli fa riprendere la resistenza primitiva. Sparisce così la corrente nel soccorritore, e si interrompe per conseguenza anche quella, che ha fatto funzionare il martellino e l'apparecchio telegrafico; ma se le onde continuano a giungere dalla stazione trasmettitrice, esse agiscono nuovamente sul coherer, ed il giuoco descritto si ripete, sinchè rimane abbassato il tasto alla stazione medesima. Per tutto questo tempo anche l'àncora dell'apparecchio telegrafico, non potendo, in virtù della propria inerzia

e di altre disposizioni di cui si parlerà in seguito, ubbidire come il martellino alle rapide variazioni di corrente, rimane attratta dalla propria elettrocalamita, benchè questa, come si vede, sia percorsa da una corrente intermittente. L' ancora è rilasciata soltanto quando, non essendo più abbassato il tasto dell' altra stazione, l' emissione delle onde rimane interrotta per un intervallo di tempo più o meno lungo; si comprende così come, mediante delle successive emissioni di maggiore o minore durata, si possano ottenere nell' apparecchio ricevitore i diversi segnali corrispondenti all' alfabeto Morse.

In pratica, come ben s' intende, non basta che una stazione possa ricevere i dispacci trasmessigli da un' altra stazione; bisogna che essa si trovi ugualmente in grado di funzionare da stazione trasmettitrice, e di mandare dal canto suo dei dispacci alla prima. Per ciò occorre, che ciascuna delle due stazioni sia fornita tanto dell' apparecchio trasmettitore quanto del ricevitore; l' antenna soltanto è comune ai due apparecchi di una medesima stazione, e le comunicazioni sono fatte in maniera, che nella posizione di riposo del tasto telegrafico questo metta l' antenna, la quale comunica stabilmente con uno dei poli del secondario del rocchetto, in relazione anche col coherer, dimodochè la stazione può funzionare da ricevitrice. Abbassando invece il tasto telegrafico per mandare dei dispacci all' altra stazione, si interrompe la comunicazione del coherer coll'antenna, la quale, rimanendo allora congiunta soltanto coll' oscillatore, compie l' ufficio di emettere le onde sinchè dura l' azione del rocchetto; un arresto convenientemente disposto impedisce nello stesso tempo che, mentre dura l' opera del trasmettitore, possa l' antenna venire in comunicazione col coherer. L' assieme di queste comunicazioni è rappresentato schematicamente nella fig. 113.

Oltre le disposizioni descritte, il buon funzionamento degli apparecchi richiede ancora una serie di accessori, i quali, o si

trovano già descritti nel primo brevetto di Marconi, o vennero introdotti da lui o da altri in seguito a prove successive. Nelle prime esperienze Marconi aveva congiunto alle estremità del coherer, coll'idea di metterlo in accordo colla lunghezza delle onde generate dall'oscillatore, due striscie sottili di rame attaccate, assieme al coherer stesso, ad una canna od asta di vetro, che veniva fissata nella linea focale dello specchio ricevitore. La lunghezza complessiva di queste striscie, assieme a quella del tubo del coherer, doveva essere quella di un risonatore Righi accordato a dare, nelle stesse condizioni, il massimo effetto. In seguito però all'adozione dell'antenna e della comunicazione colla terra, l'uso di queste striscie fu, a quanto pare, definitivamente abbandonato.

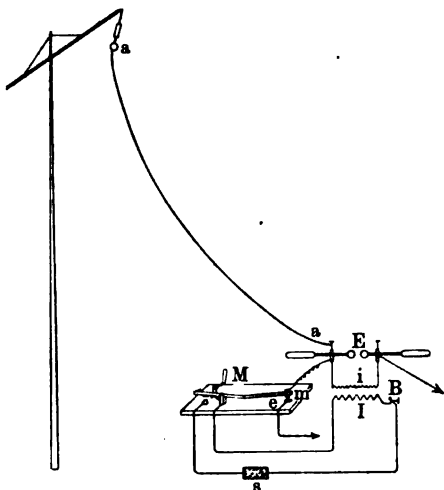



Fig. 113.

Sono necessarie invece delle disposizioni speciali per proteggere il coherer contro l'azione delle onde parassite, che possono provenire dal soccorritore, dal campanello e dall'apparecchio telegrafico, e che avrebbero l'effetto di agire sul coherer indipendentemente dall'arrivo delle onde emesse dall'altra stazione. A tale scopo sono inserite, in derivazione sui contatti nei quali potrebbero formarsi delle scintille, delle forti resistenze, le quali, mentre non danno passaggio che a una minima frazione delle correnti allo stato permanente, che fanno funzionare gli apparecchi, permettono poi, secondo Marconi, la neutralizzazione delle forti differenze di potenziale, che momentaneamente pos-

sono sorgere nell' atto dell' interruzione dei circuiti. Nella fig. 114, la quale mostra lo schema di un posto ricevitore completo, queste resistenze si trovano segnate con p_1, p_2, q ed s. L' una di esse p_1 è messa in derivazione sugli attacchi dell' elettrocalamita del campanello p, mentre un' altra p_2 stabilisce una comunicazione fra i contatti del martellino o; la q è annessa in modo simile all' elettrocalamita del soccorritore n; la stessa disposizione infine si ritrova in s rispetto all' apparecchio telegrafico h. Nei primi apparecchi di Marconi un' altra resistenza

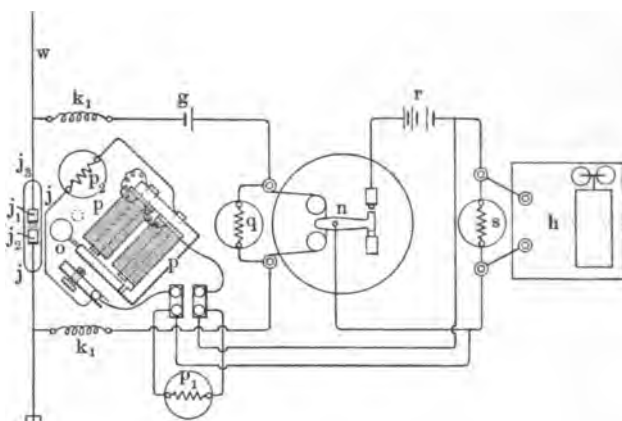



Fig. 114.

ancora era inserita fra i punti di contatto del circuito della pila r col soccorritore n. Questa resistenza, costituita da una serie di tubini chiusi contenenti dell' acqua acidulata, nella quale si trovavano immersi dei fili di platino, doveva dare passaggio alle correnti di alto potenziale, che si potevano formare nell' interruzione del circuito, mentre doveva opporsi, in virtù della forza elettromotrice di polarizzazione sviluppata fra gli elettrodi di platino, al passaggio della corrente della pila r. In seguito però questa resistenza fu sostituita con un'altra, fatta, come le p_1, p_2, q. s, con un doppio avvolgimento di filo metallico. Cia-

scuna di queste resistenze rappresenta il quadruplo della resistenza dei rocchetti delle elettrocalamite oppure dei circuiti sui quali essa fa derivazione; esse, oltre l'effetto già descritto, hanno pure, per il modo come sono disposte, quello di mantenere sempre una debole corrente, anche quando il soccorritore non fa contatto, e per conseguenza un certo grado di magnetismo nelle elettrocalamite del martellino e del ricevitore Morse. Questo artifizio, oltre a dare una maggiore sensibilità al primo di questi strumenti, contribuisce anche, assieme all'inerzia dell'àncora del ricevitore, a far sì, che una successione di onde venga registrata dal ricevitore con una linea continua anzichè con una serie di punti staccati.

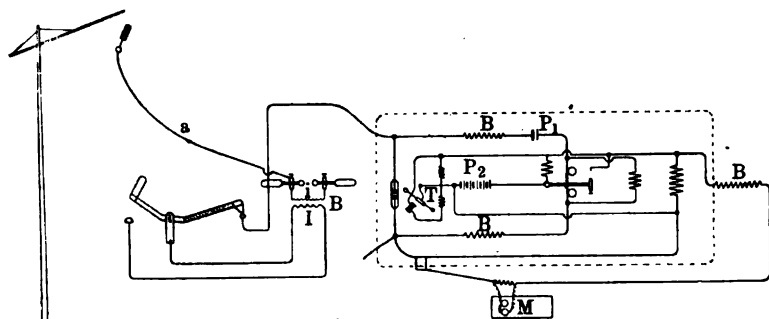



Fig. 115.

Infine bisogna anche impedire, affinchè le onde possano produrre il massimo effetto, che esse, invece di agire esclusivamente sul coherer, prendano la loro via in parte attraverso il circuito del soccorritore. A tale scopo le comunicazioni fra il coherer ed il resto del circuito sono fatte coll'interposizione di due rocchettini avvolti su nuclei di ferro, e dotati, sebbene di poca resistenza per le correnti costanti, di una forte autoinduzione.

La figura 115 dà lo schema di un posto completo fornito degli apparecchi trasmettitore e ricevitore. All'infuori del tasto

e del ricevitore Morse, tutti gli altri apparecchi sono rinchiusi in scatole metalliche comunicanti colla terra. Anche il contatto del tasto Morse è circondato da un riparo metallico messo in comunicazione col suolo.

48. **Prove pratiche del sistema.** — Dopo alcune prove preliminari eseguite in campagna presso Bologna, Marconi nel 1896 si recò in Inghilterra per sottomettere i suoi progetti alle autorità telegrafiche di quel paese. Coll'aiuto del Direttore dei telegrafi inglesi, W. Preece, delle esperienze furono istituite nell'estate e sulla fine del 1896, dapprima fra l'ufficio centrale delle poste a Londra ed una stazione improvvisata distante 100 *yards*, poi sopra una distanza di quasi 2 miglia, coll'aiuto di riflettori parabolici, e di lastre congiunte col coherer in modo da formare un risonatore.

Nel maggio 1897 gli apparecchi di Marconi, contemporaneamente al sistema del Preece stesso, furono sottoposti a prove più estese sul canale di Bristol fra Lavernock e Flat Holm, distanti 5, 3 chm, e fra Lavernock a Brean Down, luogo questo situato a 14 chm. di distanza sull'altro lato del canale. I riflettori furono tolti e si adoperarono in loro vece dei fili aerei. L'apparecchio ricevitore di Lavernock Point era collocato a 20 metri sopra il livello del mare: il filo aereo, portato da un palo alto 27 m., terminava in alto con un cappello cilindrico di lastra di zinco alto 1 metro e di 90 cm. di diametro, ed in basso conduceva ad una estremità del coherer, dall'altra estremità del quale partiva un filo, che terminava nel mare. A Flat Holm venne posto l'apparecchio trasmettitore col filo aereo e cilindro di zinco identici a quelli della stazione di Lavernock Point e con un rocchetto di Ruhmkorff capace di dare delle scintille persino di 50 cm., alimentato da una batteria di 8 accumulatori.

Il giorno 11 maggio 1897, dopo le esperienze col sistema di Preece, delle quali già rendemmo conto in altra parte di questo

libro, cominciarono quelle cogli apparecchi di Marconi. Dapprima l' esito non fu felice, probabilmente per l' insufficiente lunghezza dei fili aerei ; ma il giorno successivo, quando la lunghezza dei fili aerei fu aumentata di 20 metri, cominciarono a giungere i primi segnali, e dal terzo giorno, dopo un ulteriore allungamento, il successo fu completo. Il giorno dopo fu effettuata la comunicazione anche fra Lavernock e Brean Down.

Dopo questi risultati, anche i ministri della Guerra e della Marina italiani fecero eseguire alla Spezia, sotto la direzione di Marconi, delle esperienze, che durarono dall' 11 al 18 luglio 1897 [6]. Nei primi tre giorni, dedicati a esperienze su terra, si ebbero delle comunicazioni buonissime sino a chm. 3,6. Il 14 di luglio si fecero delle esperienze fra l'arsenale di San Bartolomeo, sulla costa orientale del golfo di Spezia, ed un rimorchiatore, che attraversò il golfo e ne percorse la riva occidentale. Il trasmettitore, con un eccitatore costituito da due sfere di 10 cm. e due sfere laterali di 5 cm. di diametro, attivato con una batteria di accumulatori e con un rocchetto capace di dare delle scintille lunghe 25 cm., venne installato sotto una tenda eretta su un promontorio, e congiunto ad un filo aereo lungo 26 m., che conduceva ad una lastra di zinco sorretta da un palo, dalla quale il filo discendeva in direzione un poco obliqua. Il ricevitore era installato presso la poppa del rimorchiatore. Dal tubetto sensibile partivano, un conduttore che comunicava col mare, ed un conduttore aereo alto 16 m. circa, sorretto da un' antenna appositamente adattata al rimorchiatore. Questo conduttore, piegato inferiormente all' infuori, saliva obliquamente dalla sinistra della poppa all' antenna rizzata nel centro, e terminava in alto anch' esso con una lastra di zinco. La trasmissione riuscì sino a 4 chm. di distanza.

Il giorno 15, cogli stessi apparecchi, la lunghezza dell' antenna a San Bartolomeo fu portata a 30 m. Dapprima sembrava impossibile eseguire delle esperienze, perchè il ricevitore, proba-

bilmente influenzato da nubi temporalesche vicine, aveva cominciato a funzionare, senza che dalla stazione trasmettitrice si mandassero dei segnali. Cessata però questa influenza, il rimorchiatore cominciò nuovamente ad allontanarsi dalla stazione trasmettitrice, e si ebbero dei dispacci leggibili sino a chm. 5, 5, il rimorchiatore rimanendo sampre in vista della stazione trasmittente. Quando però, attraversato il canale, il rimorchiatore si portò contro lo sperone della Castagna, in modo da rimanere in un angolo morto, ossia nascosto alla vista della stazione trasmettente, il ricevimento dei segnali cessò completamente.

Un altro fatto importante si constatò il giorno 16, durante delle esperienze fatte in condizioni identiche a quelle del 15. Questa volta, colle stazioni sempre in vista l'una dell'altra, i dispacci rimasero decifrabili sino a quasi 13 chm. di distanza. Quando però il rimorchiatore, dopo aver continuato ancora la sua rotta, tornò indietro, il ricevitore non parve riacquistare la primitiva sensibilità: la distanza dovette ancora essere di molto diminuíta, prima che esso tornasse a registrare le segnalazioni, che la stazione trasmittente non aveva mai cessato di emanare. Questo fenomeno era probabilmente in parte dovuto al fatto, che i fili aerei delle due stazioni, formando delle curve alquanto oblique invece di essere diritti. e verticali, durante l'allontanamento del rimorchiatore si erano trovati in posizioni pressochè parallele, mentre durante il ritorno i due conduttori, si erano trovati in posizione relativa meno favorevole. Una parte però, nel fenomeno riferito, l'aveva avuta certamente anche la posizione dell' albero della nave, il quale, durante il ritorno, si era interposto fra la stazione trasmittente ed il filo ricevitore, ed aveva assorbito o deviato una parte dell'energia elettromagnetica, che altrimenti sarebbe giunta a questo filo.

L'influenza di questa causa si rivelò ancora maggiormente nelle esperienze finali del 17 e del 18 di luglio, nelle quali la lunghezza del filo aereo a S. Bartolomeo fu portata a 34 m. ed

al rimorchiatore si sostituì la corazzata S. Martino, sulla quale si dispose un conduttore aereo di 18 e per ultimo di quasi 28 m. di lunghezza. Questa volta, mentre nell'allontanamento la corrispondenza era stata possibile sino a quasi 18 chm., nel ritorno, cogli alberi metallici ed i camini, pure metallici, della nave interposti fra l'antenna ricevitrice e la stazione trasmettente, le segnalazioni ricominciarono a raccogliersi soltanto a distanze relativamente anche minori che nelle esperienze precedenti; e ciò si spiega, qualora si pensi alle masse metalliche molto maggiori nella corazzata che nel rimorchiatore. D'altra parte invece, la posizione data sulla corazzata al coherer ed agli apparecchi telegrafici sembrava non avesse una grande influenza. Le comunicazioni, se non soddisfacenti come al solito, furono possibili ancora, quando il ricevitore fu portato sotto il ponte protetto, in località quasi completamente circondata da ampie masse metalliche. Anche in queste prove si ripetè il fatto dei giorni antecedenti, e cioè, che l'interposizione di alture di terreno fra il conduttore di emissione e quello di ricevimento faceva ostacolo alla trasmissione dei segnali, tanto che questi, quando la nave aveva preso posto dietro le isole del Tino e della Palmaria, non giungevano più affatto, benchè la distanza da S. Bartolomeo fosse appena di 8 chm.

Un fatto importante, che il Marconi aveva desunto da esperienze anteriori, e che le esperienze della Spezia confermarono, è quello dell'influenza dell'altezza delle antenne sul limite delle distanze, alle quali si può effettuare la trasmissione. Il Marconi, anzi, ha formulato una legge, secondo la quale la distanza, alla quale si possono mandare dei segnali, varierebbe approssimatamente in ragione diretta del quadrato della lunghezza delle antenne. La chiarezza dei segnali ricevuti non diminuirebbe dunque al crescere della distanza fra i conduttori verticali, se nello stesso tempo l'altezza di questi ultimi venisse accresciuta in ragione della radice quadrata della distanza. Se quindi si

raddoppiasse per esempio l'altezza delle antenne, il limite di distanza di trasmissione si troverebbe quadruplicato. E siccome, secondo Marconi, per una distanza di 1 miglio inglese (1609 m.) bastano delle antenne alte 20 piedi (6 m. circa), la suddetta legge darebbe senz'altro le altezze richieste per ogni determinata distanza. In pratica queste altezze potrebbero essere però un po' minori, ovverossia la distanza raggiungibile con una data lunghezza delle antenne sarebbe un po' maggiore, di quanto risulterebbe da quella regola. Senonchè quest'ultima vale soltanto per uno spazio completamente libero sul mare, mentre per le trasmissioni sopra terra, e specialmente quando fra le due stazioni vi sono delle alture di terreno od anche soltanto edifici o alberi, l'altezza delle antenne necessaria per una data distanza di trasmissione deve accrescersi notevolmente.

Anche il prof. Slaby [7], dopo avere assistito in Inghilterra alle esperienze istituite dal Marconi fra Lavernock Point e Flat Holm, cominciò a fare delle prove di telegrafia colle onde elettriche in Germania. Dopo l'esito felice di alcune prove di trasmissione fra il laboratorio dello Slaby e qualche località vicina, esperienze più in grande furono fatte nei giardini imperiali di Postdam, sulla riva del fiume Havel. Gli apparecchi erano simili a quelli del Marconi, soltanto il coherer, essendosi dapprima trovato troppo sensibile a lievi perturbazioni atmosferiche, venne fatto con limatura più grossolana. La stazione ricevitrice, con un filo aereo sostenuto da un palo alto 26 m., fu installata in vicinanza del ponte di Glienicke, mentre per la stazione trasmettitrice si scelse dapprima un'isoletta detta Pfaueninsel, distante 3 chm., e poi, essendosi questa località riconosciuta poco adatta, la chiesa di Sacrow, distante chm. 16 dalla stazione ricevitrice. Sulla piattaforma del campanile di questa chiesa, come si vede nella fig. 116, venne fissata un'asta sporgente, dall'estremità della quale, alta 23 m. sopra il terreno, discendeva il filo metallico, mentre l'apparecchio trasmettitore era collocato

sotto il portico che circonda la chiesa. Le trasmissioni riuscirono perfettamente, salvo in un caso, nel quale, l'apparecchio trasmettente essendo stato trasportato più addentro nel porticato per

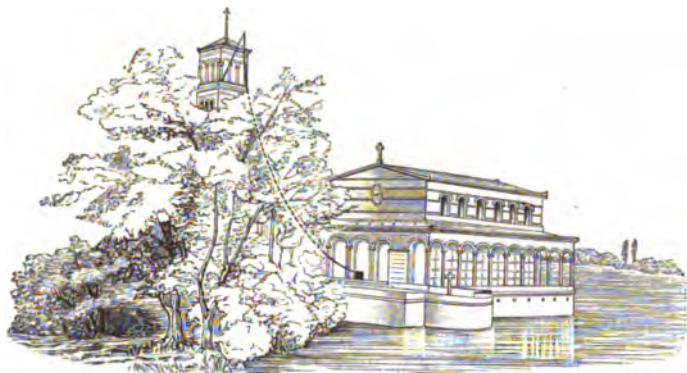



Fig. 116.

proteggerlo meglio contro la pioggia, il filo trasmettitore per un certo tratto si trovò parallelo e troppo vicino alla terra. Dei disturbi avvennero pure, quando il filo trasmettitore fu trasportato in un'altra località, nella quale, davanti od anche soltanto troppo vicino ad esso, si trovavano degli alberi. Bisogna, secondo Slaby, che i fili delle due stazioni sieno in vista l'uno dell'altro. Persino le vele di una navicella od il fumo di un piccolo battello a vapore, che passava fra le due stazioni, sembravano intercettare i segnali; e lo stesso fatto avvenne qualche volta, quando semplicemente c'era troppo vento. È essenziale pure, per la buona riuscita delle trasmissioni, che i due fili abbiano la stessa lunghezza. Fu anche constatato, come nelle esperienze alla Spezia, l'indebolimento dei segnali per opera di sporgenze di terreno fra le due stazioni.

In seguito a questi risultati, lo Slaby procedette nell'ottobre 1897 a prove di trasmissione in un terreno libero fra il poligono di Schöneberg presso Berlino e la stazione militare di Rangsdorf posta alla distanza di 21 chm. e funzionante da

stazione trasmettitrice. Per avere delle antenne di sufficiente lunghezza nelle due stazioni si fecero salire dei palloni frenati sino a circa 300 m. d'altezza; ma le comunicazioni, nei primi giorni non riuscirono buone, e si constatò che la causa stava nell'essersi adoperati come fili aerei i cavi di fili d'acciaio dei palloni, semplicemente isolati in basso e messi in comunicazione cogli apparecchi mediante fili di rame. Quando invece ai cavi di filo d'acciaio si lasciò soltanto il cómpito di tenere frenati i palloni, e che da questi si fecero discendere dei fili aerei speciali di rame, le comunicazioni diventarono soddisfacenti, e si mantennero tali sinchè il tempo fu buono. Però il tempo cattivo, e specialmente le perturbazioni elettriche dell'atmosfera, si fecero sentire assai più ancora che nelle esperienze precedenti, e certe volte avvennero delle scariche tali da far correre dei rischi seri alle persone addette agli apparecchi. Ed è chiaro, che questi rischi debbono crescere colla maggiore lunghezza dei fili richiesta per distanze più grandi; cosicchè le esperienze descritte, mentre dimostrarono per la prima volta la possibilità della telegrafia senza filo a distanze considerevoli, mostrarono pure la necessità di sospendere ogni operazione in periodi di tempo cattivo, finchè almeno non si sia trovato il modo d'evitare i menzionati pericoli.

Fortunatamente, non solo le disposizioni adoperate nelle solite stazioni telegrafiche contro i pericoli delle scariche atmosferiche si sono mostrate efficaci anche nelle stazioni per la telegrafia senza filo, ma questi pericoli stessi sono assai diminuiti dopo che, mercè ai successivi perfezionamenti apportati ai diversi apparecchi e specialmente al coherer, è diventato possibile ridurre sensibilmente, in confronto colle prime esperienze, l'altezza delle antenne necessaria per determinate distanze. Senza passare in rassegna tutte le esperienze e le installazioni eseguite, sia a scopo di prove, sia anche per i bisogni di un servizio pratico, dalla « Wireless Telegraph and Signal Company » forma-

tasi per sfruttare la invenzione di Marconi, daremo soltanto alcuni dei risultati più importanti.

Mel mese di luglio 1898, dei rapporti continui sulle regate di Kingstown furono trasmessi ad un giornale di Dublino per mezzo di una stazione ricevitrice eretta a Kingstown stessa, e degli apparecchi trasmettitori collocati sopra un vapore, che seguiva da vicino i diversi yachts. Nell'agosto dello stesso anno il yacht del principe di Galles fu mantenuto in comunicazione col castello di Osborne sull'isola di Wight. L'antenna impiantata sul yacht misurava 25 m. sopra il ponte, quella eretta al castello era alta 31 m. Le comunicazioni si ebbero sino ad una distanza di chm. 13,5, benchè fra le due stazioni talvolta si interponesse una collina alta 50 metri.

Delle esperienze importanti si fecero dal mese di marzo al giugno 1899 attraverso la Manica, fra la stazione del faro di South Foreland, vicino a Dover, ed un'altra eretta a Wimereux nei pressi di Boulogne. Avremo occasione di tornare ancora su queste esperienze, le quali avevano anche lo scopo di provare la possibilità della *sintonia*, mediante la quale, avendosi diversi apparecchi ricevitori accordati per onde di frequenze differenti, ciascuno doveva rispondere soltanto ai messaggi mandati da un determinato trasmettitore, e perciò dovevano tutti funzionare indipendentemente, e senza disturbo reciproco. Per ora diremo, che la distanza fra le due stazioni era di 46 chm., e che le antenne, la cui altezza nelle due stazioni in principio era stata di 45 m., e poi era stata ridotta a 37 m., erano formate ciascuna da un cavo coperto di coautchouc e composto di 7 fili di rame di $^9/_{10}$ di mm.

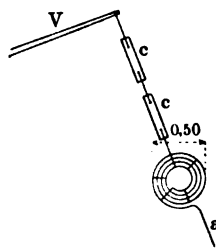



Fig. 117.

di diametro. In alto l'antenna terminava con un filo nudo avvolto a spirale, e portato, come si vede nella figura 117, da un

braccio V coll'interposizione di due cilindri *cc* di ebanite. Il braccio stesso era sostenuto da un palo trattenuto da corde, disposte in maniera da non nascondere una delle antenne all'altra. Oltrechè fra queste due stazioni, le esperienze si fecero anche colla stazione del faro galeggiante *Goodwind*, situato a 19 chm. da South Foreland e munito di un'antenna alta 24 m., e colle installazioni provvisorie poste sull'avviso *Ibis* e sulla nave trasporto *La Vienne*. L'antenna sull'*Ibis* era alta 21 m., quella sulla *Vienne* 31 m.

Le esperienze di comunicazione semplice fra due stazioni separate da uno spazio libero (di quelle contemporanee fra più stazioni diremo in seguito) riuscirono perfette, anche in tempo di nebbia, di pioggia e di tempesta, non solo da South Foreland a Wimereux oppure a *Goodwind* e viceversa, ma anche fra queste tre stazioni e quelle mobili poste sull'*Ibis* e sulla *Vienne*, sia che le navi fossero in moto o ferme. Le distanze massime raggiunte furono di 20 chm. tra l'*Ibis* e *Goodvind*, di 25 e di 30 chm. tra l'*Ibis* e South Foreland, quando la prima funzionava da stazione trasmettitrice; in direzione opposta un telegramma fu ricevuto una volta, anche quando la *Vienne* si trovava a 52 chm. dalla stazione di South Foreland. Quando fra le due stazioni comunicanti fra di loro erano interposti degli ostacoli tali da impedire all'una la vista dell'altra, i limiti della trasmissione naturalmente dovevano essere più ristretti. Tuttavia l'*Ibis*, con un'antenna alta 22 m., potè scambiare dei dispacci colla stazione di Wimereux, fornita di un'antenna di 45 m., quando si trovava a 19 chm. da questa, e ne era separata dalla sporgenza del capo di Gris-Nez alta 100 m. Anche il fatto delle comunicazioni fra Wimereux e la *Vienne* ancorata nel porto di Boulogne va ricordato, non tanto per la distanza, la quale non era che di 5 chm. fra i due posti, quanto per l'interposizione del massiccio della Crêche, alto 75 m., e dei numerosi fili elettrici sugli scali del porto di Boulogne.

Nel mese di settembre dello stesso anno 1899, quando la « British Association for the Advancement of Science » e la « Association Française pour l'avancement des Sciences » tennero contemporaneamente le loro riunioni annue, la prima a Dover e la seconda a Boulogne, si impiantarono in questi due luoghi degli apparecchi per la telegrafia senza filo, e coll'intervento della stazione di Wimereux (non essendosi ancora giunti a trasmettere direttamente i segnali fra le due città suddette) si scambiarono dei telegrammi fra coloro che partecipavano ai due Congressi: un saluto fu mandato pure, e sempre col tramite del telegrafo senza filo fra Dover e Wimereux, durante una conferenza del Prof. Fleming sul centenario della corrente elettrica, agli elettricisti riuniti in Congresso internazionale a Como per celebrare lo stesso avvenimento. Le grandi masse di roccie e di scogli, che si trovano in linea retta fra Dover e Wimereux, non disturbavano menomamente le comunicazioni.

In seguito, delle comunicazioni dirette vennero pure stabilite tra la stazione di Wimereux ed altre due stazioni, erette tutte e due nella provincia di Essex, ma l'una a Harwich, sulla costa, l'altra più nell'interno, a Chelmsford, distante 15 chm. dal mare. La distanza da Wimereux, per l'una come per l'altra, è di 136 chm., ma la linea retta fra Wimereux e Harwich, ad eccezione di un tratto di 8 chm. sulla punta di North Foreland, passa tutta sul mare, mentre quella tra Wimereux e Chelmsford è per metà circa sopra terra e, per conseguenza, probabilmente meno favorevole alle trasmissioni senza filo. Ciò nonostante le prove diedero buoni risultati sulle due linee con antenne alte 45 m.

Esperienze di telegrafia senza filo tra Chamounix e l'osservatorio Vallot sulla vetta del Montebianco furono eseguite dai fratelli Lecarme [8] nell'estate del 1899. L'interesse di queste esperienze sta, non tanto nella distanza, la quale non

era che di 12 chm., quanto nella grande differenza d'altezza fra le due stazioni, delle quali una si trova a circa 1000, l'altra a 4350 m. sul livello del mare. Tuttavia le due stazioni erano in vista l'una dell'altra. Il trasmettitore fu collocato a Chamounix con un'antenna di 25 m., la quale faceva coll'orizzonte un angolo di 60.° Le esperienze riuscirono bene, e non furono disturbate nè dalle nubi nè da scariche atmosferiche. Soltanto di sera, mentre funzionava l'illuminazione elettrica a Chamounix, non era possibile raccogliere dei segnali.

Nelle Alpi bavaresi, fra il lago Eibsee e l'osservatorio meteorologico della Zugspitze, situato a 2000 metri sopra il lago, dopo qualche tentativo non riuscìto, fu pure istituita dalla « Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft » una comunicazione, che funziona perfettamente.

La trasmissione di segnali tra la terra ed un pallone fu tentata nel 1899 dagli ufficiali areonauti dell'esercito austriaco, e successivamente anche in Francia. La stazione trasmettitrice nei due casi era stabilita sulla terra, e la sua antenna, lunga 150 m. nelle esperienze austriache e 40 m. in quelle francesi, era portata da uno speciale pallone frenato, mentre l'antenna ricevitrice, lunga 20 m. nel primo e 50 nel secondo caso, pendeva giù da un pallone libero, il quale portava gli apparecchi ricevitori. Il limite della trasmissione nelle esperienze francesi fu di 6 chm. col pallone a 800 m. sopra terra, mentre nelle esperienze austriache, forse a causa del tempo più tranquillo e della maggiore lunghezza dell'antenna trasmettitrice, le trasmissioni cessarono soltanto quando il pallone, salito a 1600 m., si era allontanato più di 10 chm. dal suo punto di partenza.

Anteriormente a queste esperienze, del resto, prove simili, dei risultati delle quali però non si ebbero resoconti autentici, erano state fatte in Germania. La trasmissione dalla terra al pallone fu possibile in un caso, a quanto pare, sino a 45 chm. di distanza.

Una delle più importanti applicazioni della telegrafia senza filo è quella delle comunicazioni, non solo fra le navi e la costa, ma anche delle navi fra di loro, p. e. quando si tratta di trasmettere degli ordini alle diverse navi componenti una flotta di combattimento. Con questo scopo, l'Amministrazione navale degli Stati Uniti fece eseguire nell'ottobre del 1899, sotto la direzione di Marconi, delle prove, con apparecchi istallati sull'incrociatore *New York* e sulla corazzata *Massachusetts*. Benchè gli apparecchi non fossero provveduti di tutti i perfezionamenti, che a quell'epoca già si erano introdotti, il *New York* potè ricevere dei messaggi dalla *Massachusetts*, quando le due navi erano separate da una distanza di 57 chilometri; però i segnali mandati in senso inverso non giunsero al di là di 27 chm. In altra giornata avvenne l'opposto. Ciononostante, la relazione pubblicata su queste esperienze è in complesso favorevole.

Migliori però furono i risultati ottenuti durante le manovre navali inglesi dello stesso anno. Il più delle volte i segnali furono ricevuti sino a distanza di 50 ed anche di 80 chm., e in un caso essi giunsero sino a 100 chm. L'altezza delle antenne, in questo caso, era di 45 sull'uno e di 38 m. sull'altro dei due bastimenti, mentre, tenuto conto della curvatura del globo, le antenne, perchè almeno le loro punte fossero state visibili l'una dall'altra avrebbero dovuto raggiungere più di 200 m. d'altezza. Per cui, se non si vuole ammettere, che le onde elettriche abbiano attraversato uno strato d'acqua di tale spessore, bisogna ritenere, che esse sieno state deviate per diffrazione.

Durante le manovre navali del 1900 due navi inglesi, *Juno* e *Europa*, poterono scambiare dei dispacci a 136 chilometri di distanza. Già prima di queste manovre, l'Ammiragliato inglese aveva stabilito colla Società Marconi un contratto per l'impianto di 32 stazioni di telegrafia senza filo, parte su navi da guerra, parte nelle stazioni dei porti. La condizione imposta,

che gli apparecchi permettessero lo scambio di dispacci fra due navi, di cui l'una si trovasse presso Portland, l'altra nel porto di Portsmouth alla distanza di 65 miglia (105 km.), e separata dalla prima anche da un tratto di terra colle alture di Dorsetshire, fu adempiuta in modo soddisfacente.

Anche nelle marine militari e commerciali degli altri paesi, e specialmente della Germania, si è introdotta la telegrafia senza filo. Il più delle volte però si è ricorso, anzichè agli apparecchi della Società Marconi, ad altri sistemi, di cui parleremo in seguito.

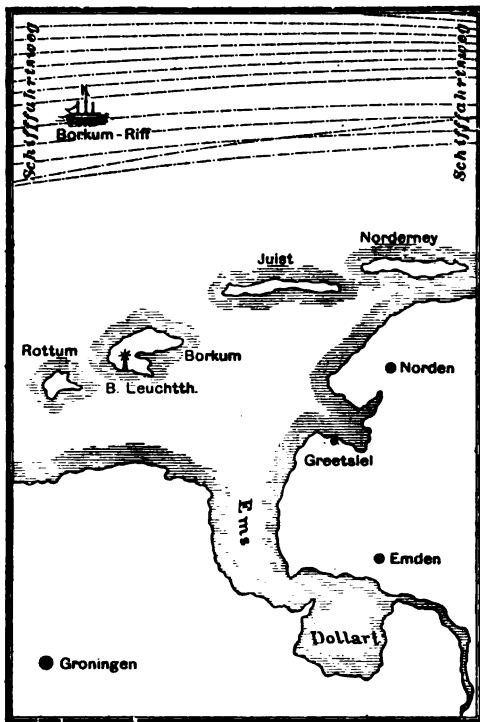



Fig. 118.

Invece, gli apparecchi Marconi si trovano nell'impianto di telegrafia senza filo, che dalla metà di maggio 1900 funziona tra il faro dell'isola di Borkum ed il battello fanale Borkum-Riff (v. la carta annessa, fig. 118). L'impianto è dovuto all'iniziativa della società di navigazione «Nordeutscher Lloyd», per la quale è di sommo interesse l'esser informata al più presto possibile dell'imminente arrivo dei vapori, che da quella parte sono in rotta verso Bremen. Il faro stesso fu messo in comunicazione telegrafica stabile colla linea che conduce ad Emden. La distanza fra il faro e la nave è di circa 21 miglia marine (39 km.), e le antenne hanno un'altezza di 38 m. presso il faro e di 30 sulla

nave, e sono formate da corde di filo di rame stagnato; quella del faro inoltre è provvista, per una lunghezza di 20 m., di una rete metallica larga 1 m. L'influenza delle scariche atmosferiche, la quale, specialmente alla stazione del faro, aveva dapprima prodotto dei disturbi gravi e frequenti, è stata eliminata mediante delle disposizioni, che conosceremo in seguito. Ciascuna delle due stazioni è fornita degli apparecchi tanto per la trasmissione quanto per il ricevimento dei dispacci. Dall'apertura regolare del servizio, la quale avvenne circa alla metà di maggio 1900, alla fine dello stesso anno, 582 telegrammi con più di 7000 parole furono trasmessi dai bastimenti alla stazione galleggiante, e da questa alla stazione del faro; 53 telegrammi con 730 parole furono trasmessi nel senso opposto, e 20 telegrammi con 290 parole furono ricevuti nella stazione del faro direttamente dai bastimenti in rotta. In un caso il vapore *Kaiser Wilhelm der Grosse* potè scambiare dei dispacci colla stazione a 74 chm. di distanza, e la stazione ricevette dei segnali intelligibili, persino quando il vapore si trovava a 93 chm. Non occorre rilevare di quanto vantaggio sia un mezzo di comunicazione indipendente dalle condizioni del mare, anche per lo stesso equipaggio del faro galleggiante, per il servizio immediato, che a questo incombe. Citiamo, a titolo d'esempio, che il faro galleggiante del Borkum Riff, avendo perduto l'âncora durante una tempesta, la quale lo spinse verso l'alto mare, probabilmente sarebbe andato perduto senza il telegrafo senza filo, mediante il quale potè chiamare dei soccorsi dalla stazione di Borkum. Analogamente, il 27 marzo 1901, un vapore francese in una zona pericolosa per i suoi bassifondi presso il porto di Dunquerque, avuta notizia mediante la telegrafia senza filo che il faro vicino, in seguito a guasti avvenuti, non avrebbe potuto nella notte successiva provvedere al suo servizio, giunto nel porto potè mandare i soccorsi richiesti.

Senza proseguire questa cronaca, la quale già al giorno d'oggi si potrebbe continuare per un pezzo, diremo un' ultima parola sulle distanze, alle quali recentemente si sono potute stabilire delle comunicazioni mediante la telegrafia senza filo, specialmente attraverso il mare, sul quale i risultati sono tuttora di gran lunga superiori a quelli realizzati sul continente. Però non intendiamo parlare di quelle esperienze, nelle quali la comunicazione è rimasta limitata alla trasmissione, ad epoche prestabilite, di qualche segnale convenuto. Meritano di essere richiamate invece le prove istituite dalla « Marconi 's International Marine Communication Company », tra il sud della Francia e la Corsica, e precisamente tra Biot, vicino a Antibes sulla costa provenzale, e Calvi in quell'isola. La distanza tra le due stazioni, situata ciascuna quasi al livello del mare ed a meno di 200 m. dalla riva, è di 175 chm.; le antenne, alte 52 m. nei due posti, sono costituite ciascuna da 4 corde metalliche riunite in parallelo, e diposte secondo gli spigoli di un prisma a base quadrata di m. 1,5 di lato. I fili, che conducono alla terra, finiscono in lastre di zinco di 20 a 30 m.^{2}, sotterrate in posizione orizzontale a m. 0,50 di profondità. I risultati, secondo la testimonianza di chi assistette a queste prove, sarebbero assai rimarchevoli. I dispacci trasmessi furono sempre ricevuti correttamente, le lineette ed i punti dell'alfabeto Morse furono sempre nettamente separati, per quanto la velocità di trasmissione fosse ordinariamente fra le 6 e le 8 parole, e raggiungesse talvolta anche 10 o 12 parole al minuto. Invece, la desiderata sintonia non fu realizzata, a quanto sembra, che assai imperfettamente; spesso si registravano dei telegrammi emessi da navi da guerra straniere, che passavano a distanze superiori a 30 chm.

D' altra parte, delle trasmissioni a distanze ancora maggiori di quella fra la Corsica e la Francia, e precisamente sino a 300 chm., sarebbero state effettuate recentemente tanto da Marconi stesso (tra l' isola di Wight ed il capo Lizard) quanto anche

in Germania da Slaby, e sino a 200 chm. da Braun con sistemi loro propri e differenti da quello di Marconi. Anche quest'ultimo sistema del resto, nei pochi anni della sua vita, ha subito nei suoi dettagli numerose modificazioni, mercè le quali appunto diventarono possibili i risultati riferiti. Nello stesso tempo, da numerosi sperimentatori furono ideate disposizioni nuove, alcune delle quali, è vero, sono rimaste allo stato di proposte, mentre altre hanno già avuto la consacrazione della pratica. Bisogna rinviare il giudizio sui diversi sistemi, a quando avremo imparato a conoscere meglio la costruzione ed il funzionamento dei diversi organi, che richiede la telegrafia senza filo.

49. **La telegrafia colle onde elettriche propagate nell'acqua e nella terra.** — Nel primo capitolo di questa Parte abbiamo parlato di certe esperienze di telegrafia, nelle quali la trasmissione delle correnti elettriche, anzicchè per mezzo di fili conduttori adibiti a questo scopo, doveva effettuarsi attraverso gli strati semiconduttori della terra, o le masse d'acqua che la coprono. Queste esperienze, le quali risalgono sino ai primordi della telegrafia elettrica, furono abbandonate, malgrado qualche successo pratico, quando nelle onde hertziane propagate attraverso l'aria si riconobbe un agente di trasmissione di una potenzialità meravigliosa, davanti alla quale sembrava quasi che le distanze svanissero. Tuttavia si riconobbe presto, che la comunicazione colle onde elettriche riusciva più facile, e le distanze varcate con dati apparecchi erano assai più grandi, sopra una superficie d'acqua non interrotta da sporgenze di terra ferma, che non al di sopra dei continenti, sui quali le irregolarità della superficie e le alture tendono a deviare ed a indebolire le onde. D'altra parte non era escluso, che le onde stesse potessero propagarsi anche nell'acqua e nella terra, e che anzi questa propagazione offrisse per la trasmissione di segnali delle condizioni più favorevoli, che non quella delle correnti propriamente dette. Riportandoci alla fig. 94 (pag. 253),

la quale rappresenta le linee di egual potenziale e le linee di corrente in una massa di acqua o di terra supposta omogenea, in cui siano immersi due conduttori comunicanti con una sorgente di correnti continue, od interrotte con un ritmo non troppo rapido, è facile rendersi conto delle modificazioni, che dovranno subire queste linee, quando alle correnti suddette s'imaginano sostituite delle correnti ad alternazione rapidissima oppure delle onde elettriche. Infatti, mentre una corrente costante lanciata attraverso un conduttore cilindrico riempie uniformemente tutta la sezione del conduttore, la propagazione di una corrente alternata nello stesso conduttore ha luogo soltanto in uno strato superficiale, di spessore tanto minore, quanto più rapide sono le alternazioni. Qualche cosa di analogo deve succedere, se in una grande massa d'acqua si immergono due lastre metalliche comunicanti con una sorgente di oscillazioni elettriche o di correnti alternate; senonchè in questo caso le linee di corrente, oltre ad essere limitate ad uno strato superficiale, tenderanno ad allontanarsi reciprocamente anche entro questo strato, quasi che vi fosse fra di esse una repulsione. Maggiore, per conseguenza, sarà anche la distanza laterale delle due lastre, sino alla quale la loro azione potrà farsi sentire.

Questi ragionamenti costituiscono il punto di partenza di certe esperienze di telegrafia senza filo attraverso l'acqua, istituite dal sig. Braun [9] nel 1898. La profondità, sino alla quale le onde penetrano nell'acqua con intensità sensibile, rimarrebbe, secondo il sig. Braun, inferiore a due metri. Di più le onde elettriche offrirebbero, di fronte alle correnti continue, il vantaggio, che la comunicazione richiede soltanto una superficie d'acqua non interrotta, mentre delle isole o penisole, ancorchè queste ultime si estendessero molto nell'acqua, e che le une o le altre fossero alte o coperte di costruzioni o di alberi, non dovrebbero far ostacolo alla trasmissione.

Per generare le onde nell'acqua il sig. Braun si servì della disposizione rappresentata dalla fig. 119, la quale mostra due conduttori immersi ad una certa distanza l'uno dall'altro nell'acqua, e terminati esternamente con sfere, sulle quali scoc-

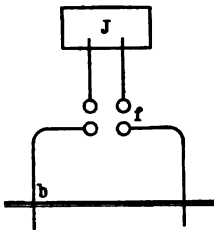
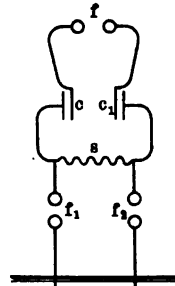



Fig. 119 Fig. 120

cavano delle scintille da un rocchetto d'induzione J. Le scariche comunicate improvvisamente per mezzo di queste scintille ai due fili, producevano in questi delle perturbazioni, le quali dovevano propagarsi, in parte penetrando nell'acqua, ed in parte nell'aria.

Invece della disposizione semplice della fig. 119, il sig. Braun mise a prova anche delle disposizioni più complesse contenenti dei condensatori, fra le quali, per ragioni che si conosceranno

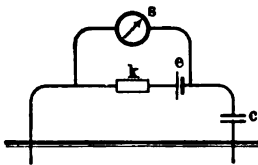
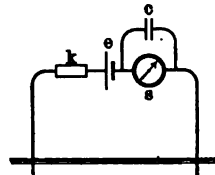



Fig. 121 Fig. 122

nel cap. V di questa Parte, trovò particolarmente efficace quella costituita secondo lo schema della fig. 120, nella quale s è un'autoinduzione e c, c_1 sono due condensatori. Alla stazione ricevitrice due conduttori immersi nell'acqua conducono ad un circuito formato da un condensatore, dal coherer, dalla sua pila, e dal soccorritore o dall'indicatore di corrente. Le disposizioni si vedono negli schemi delle figure 121 e 122, nelle quali k

è il coherer, *e* la pila, *s* l'indicatore di corrente e *c* il condensatore.

Le prime esperienze, le quali dovevano dimostrare, che la trasmissione non avveniva, nè per mezzo di onde elettriche propagate nell'aria, nè per opera dell'induzione fra circuiti chiusi come nelle esperienze di Preece, e che non si trattava neppure di conduzione nell'acqua, furono eseguite durante l'estate del 1898 nelle fosse delle antiche fortificazioni di Strasburgo. Una di queste fosse aveva la forma tortuosa rappresentata nella fig. 123. La stazione trasmettitrice fu stabilita presso *ab*, ad una delle estremità della fossa, vicino ad un rettangolo a_1 coperto di fabbricati alti, i quali escludevano quasi, secondo il sig. Braun, la possibilità di una trasmissione diretta di onde attraverso l'aria. Questa supposizione, del resto, venne confermata anche dal fatto che, trasportando la stazione ricevitrice lungo la fossa, le esperienze riuscirono perfette, sinchè i fili ricevitori erano immersi nella grande massa d'acqua, mentre l'effetto diminuì in forti proporzioni, appena i fili del ricevitore furono trasportati nel bacino *e*, il quale comunicava colla fossa propriamente detta soltanto per mezzo di un canale largo meno di un metro e profondo di pochi centimetri. Del resto, anche in quest'ultima posizione del ricevitore, l'intensità dell'effetto potè essere portata al valore delle altre posizioni modificando opportunamente l'autoinduzione del trasmettitore.

Fig. 123

Nel corso di altre esperienze, istituite sopra una superficie d'acqua più grande, i fili del ricevitore furono disposti, sia lateralmente sul prolungamento della retta, che congiungeva i

due fili della stazione trasmettente e da uno stesso lato di questa, sia sulla perpendicolare elevata sul punto di mezzo di quella retta. Benchè la prima di queste posizioni eliminasse gli effetti di una conduzione per correnti continue attraverso l'acqua, e la seconda fosse tale da escludere la possibilità di una induzione tra circuiti chiusi, i risultati furono gli stessi come per le altre posizioni del ricevitore, e non possono, tenuto conto anche dei risultati delle esperienze nelle fosse, secondo il signor Braun, attribuirsi ad altra causa all'infuori delle onde elettriche trasmesse attraverso l'acqua.

Delle esperienze in più vasta scala furono fatte più tardi a Cuxhaven, presso l'imboccatura dell'Elba. Benchè si adoperasse soltanto un rocchetto di medie dimensioni, alimentato da 8 elementi Bunsen, e che la disposizione in genere non fosse delle più favorevoli, la trasmissione riuscì fino a 3 chm. di distanza. Malgrado questo esito buono le esperienze furono però abbandonate, di fronte al problema più urgente e più promettente della trasmissione attraverso l'aria.

D'altra parte i Signori Popp e Pilsudski eseguirono nei pressi di Parigi delle prove di telegrafia senza filo, nelle quali, secondo essi, la trasmissione delle onde avveniva, anzichè per l'aria, attraverso il suolo. A tale scopo, l'antenna del sistema Marconi fu sostituita in ciascuna stazione da un filo terminato con una lastra metallica, la quale appoggiava sopra una lastra di vetro collocata sulla terra e spalmata di petrolio, formando così un condensatore, le armature del quale erano la lastra metallica ed il suolo. Alla stazione trasmettente il filo congiunto alla lastra metallica conduceva ad una delle sfere di un oscillatore, mentre l'altra sfera era messa in comunicazione colla terra mediante una grande lastra metallica sotterrata. Similmente, alla stazione ricevitrice il condensatore descritto fu messo in comunicazione con uno degli elettrodi di un coherer, l'altro elettrodo del quale comunicava colla terra. Il coherer, nel modo solito,

faceva parte del circuito di una pila e di un soccorritore. Secondo il Sig. Pilsudski le onde comunicate al suolo per mezzo del condensatore della stazione trasmittente si propagherebbero nel suolo stesso, sino alla stazione ricevitrice. Nel corso di certe sue ricerche, intese a trovare un metodo per constatare la presenza di giacimenti metalliferi nel suolo, il Sig. Pilsudski ritiene di avere osservato, che le onde elettriche si propaghino nel suolo, e siano trattenute soltanto, se tra il punto di partenza e quello nel quale è disposto il ricevitore si trovino dei depositi metalliferi. Le esperienze di telegrafia fatte a Vésinet, vicino a Parigi, sopra una distanza di circa 500 metri, diedero infatti un risultato positivo, ma data specialmente la piccola distanza tra le due stazioni, non è esclusa la possibilità, che la trasmissione sia avvenuta, anzichè attraverso il suolo, nel modo solito attraverso l'aria. Per confortare l'opinione dei Signori Popp e Pilsudski, occorrerebbero delle esperienze più estese, ed istituite in modo da escludere ogni altro modo di trasmissione.

B. DESSAU.

Bibliografia e brevetti.

1) Fahie. History of Wireless Telegraphy, 1.ª ed., Londra, 1899, p. 290.

2) Lodge. Te Work of Hertz, ed. del 1897, p. 67.

3) Lodge. Signalling through Space without Wires, 3.ª ed., p. 45.

4) Fahie, p. 202.

5) I brevetti inglesi di Marconi e della « Wireless Telegraph and Signal Compagny » relativi alla telegrafia senza filo tra due stazioni soltanto, sono i seguenti:

N. 12039 del 2 giugno 1896; n. 29306 del 10 dicembre 1897; n. 12325 del 1.° giugno 1898; n. 12326 del 1.° giugno 1898; n. 5657 del 15 marzo 1899; n. 6982 del 1.° aprile 1899; n. 25186 del 19 dicembre 1899.

6) V. in proposito la relazione di A. Della Riccia: *Gli apparecchi di Marconi e le esperienze alla Spezia*. Roma, 1897.

7) Slaby. Die Funkentelegraphie, 2.ª ed., Berlino, 1901.

8) Lecarme. Comptes Rendus, t. 129, p. 584, 1899.

9) Braun. Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft. Lipsia, 1901.

CAPITOLO III.

Gli apparecchi della telegrafia senza filo fra due stazioni.

50. **Rocchetti d' induzione e trasformatori.** — Nelle esperienze da laboratorio un oscillatore può essere attivato indistintamente da una macchina ad influenza come da un rocchetto d' induzione; anzi la prima è da molti sperimentatori preferita. Ma anche le migliori macchine risentono l'azione dell' umidità, che può renderle inattive, ed inoltre, quando si tratta di un servizio continuo, hanno bisogno di un motore, che le mantenga in moto. Perciò nella pratica della telegrafia senza filo si adoperano esclusivamente i rocchetti d' induzione, alimentati, o dalla corrente fornita da una centrale elettrica, oppure da pile od accumulatori, salvo per alcuni sistemi, pei quali si ricorre agli alternatori combinati con trasformatori.

La costruzione dei rocchetti d' induzione non ha fatto, a dire il vero, quei progressi, che forse si sarebbero aspettati in seguito al loro passaggio dalle funzioni limitate di un apparecchio da laboratorio a quelle più vaste di uno strumento industriale. Il loro rendimento, ossia il rapporto tra l'energia consumata nel circuito primario e quella ricavata dal circuito secondario, lascia tuttora molto a desiderare, e difficilmente supera il 20 p. %: senonchè il bisogno di impiegare, quando si tratta di telegrafare sopra distanze considerevoli, in ogni scarica dell' oscillatore la maggiore quantità possibile di energia, ha condotto i costruttori ad aumentare sempre di più le dimensioni dei rocchetti, i quali oggi non di rado sono capaci di dare scintille di 40 a 50 centimetri fra punte, benchè nel caso pratico fra le sfere dell' oscillatore non si adoperino che scintille molto più

brevi. In sostanza però, i rocchetti più diffusi differiscono poco

Fig. 124.

dal rocchetto classico di Ruhmkorff descritto nel § 22. Tuttavia

Fig. 125.

i rocchetti costruiti in Germania hanno un carattere esterno che li distingue (fig. 124), essendo completamente rivestiti di ebanite. Di più essi hanno in generale l'induttore molto più lungo del rocchetto indotto, e spostabile entro un tubo d'ebanite, ciò che permette di regolare entro certi limiti gli effetti, variandosi collo spostamento l'induzione fra i due circuiti.

Una forma compatta di questi rocchetti, da fissarsi ad un muro in posizione verticale come si vede nella fig. 125, è fabbricata dalla « Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft » di Berlino.

Delle cure speciali sono richieste per l'isolamento del circuito indotto. Questo isolamento può esser dato da corpi solidi o da liquidi. Gli isolanti solidi, in seguito alle variazioni di volume prodotte nelle varie parti dell'apparecchio dalle variazioni di temperatura, a lungo andare restano deterioriati, distaccandosi dal metallo

o nascendo nella loro massa piccole screpolature. Le lente scariche, che poi si producono nei piccoli vani, modificano la sostanza isolante in guisa, che l'isolamento si fa di più in più difettoso, sicchè ha luogo la completa rottura. Quando è accaduto un tal guasto, il ripararlo è cosa difficile e costosa.

L'impiego degli isolanti liquidi evita questi inconvenienti; ma l'isolamento, che si ha in tal modo, è sempre meno perfetto di quello che dà un isolatore solido in buon stato, in causa, fra altro, delle correnti, che si stabiliscono nel liquido per opera delle forze elettriche.

Si attenuano gl' inconvenienti proprii dell' isolamento solido costruendo i due rocchetti, quello formato dal filo induttore e

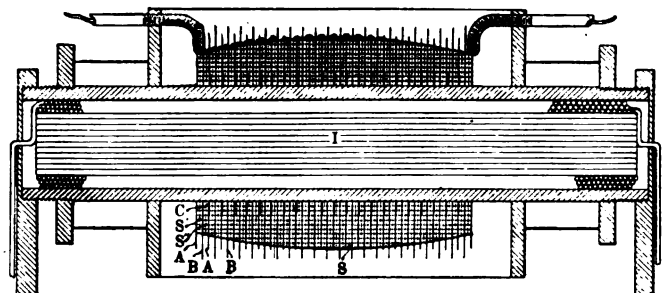



Fig 126.

quello formato dal filo indotto, indipendenti l'uno dall'altro, e poi collocando il primo entro il secondo. Si concede così una certa libertà di espansione e di contrazione alle diverse parti, e ad ogni modo più agevole diviene l'eventuale riparazione.

Molti costruttori formano il circuito indotto con più rocchetti distinti, aventi generalmente il fusto di ebanite. Tale è il rocchetto di Davis (fig. 126), nel quale questi rocchetti sono assai numerosi. Si ha così il vantaggio di non dover sostituire che una piccola porzione dell'apparecchio in caso di guasto.

Invece di un isolante solido o liquido Wydts e De Rochefort

adoperano nel loro trasformatore, che si vede nella fig. 127, una massa pastosa, che dovrebbe combinare i vantaggi dell'uno

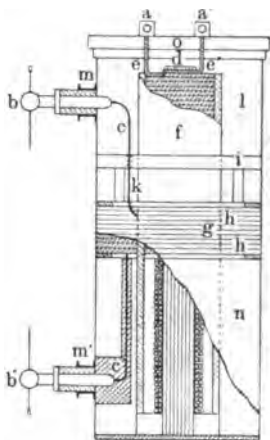



Fig. 127.

e dell'altro, e che si ottiene sciogliendo della paraffina nel petrolio caldo. L'apparecchio è disposto verticalmente entro un recipiente di forma cilindrica; l'induttore, della forma solita, consiste in due strati di filo grosso avvolti sopra un nucleo di fili di ferro, ed è rinchiuso da un tubo isolante; l'indotto è costituito da uno o due rocchetti, i quali, sorretti da colonne di vetro sopra un blocco di legno, circondano soltanto la parte centrale dell'induttore, e non contengono che 600 grammi di filo di rame di mm. 0,16 di diametro per ciascuno. Il costruttore non li mette in posto che dopo averli mantenuti per 24 ore nel miscuglio caldo di paraffina e petrolio. L'apparecchio con un solo rocchetto, con una corrente di 4 ampère data da una pila avente 5 volta di forza elettromotrice, dà scintille di 25 cm., mentre un rocchetto Ruhmkorff usuale, per dare la medesima lunghezza di scintille, deve contenere 5 o 6 chilogrammi di filo secondario, e consumare una quantità sei volte maggiore di energia.

Mettendo in comunicazione colla terra quello dei capi del circuito secondario, il quale si trova più vicino al circuito primario, Wydts e Rochefort dicono di aver constatato un forte aumento degli effetti del loro apparecchio [2]. Si possono poi combinare in quantità i due rocchetti secondari e ottenere così delle scintille più nutrite. L'apparecchio di Wydts e De Rochefort, che questi costruttori chiamano trasformatore unipolare, fu adoperato dal Tissot nelle sue esperienze, delle quali si parlerà ancora in seguito, e col medesimo si sarebbero trasmessi dei dispacci sino a 65 chm., laddove cogli stessi apparecchi e con un

ordinario rocchetto non si sarebbe oltrepassata la distanza di 35 chm.

Alquanto differente dai soliti tipi di rocchetti è il trasformatore di Klingelfuss, il quale si avvicina ai trasformatori indu-

Fig. 128.

striali, come si vede dalle figure 128 e 129, le quali ne danno l'aspetto esterno ed i dettagli di costruzione. Esso è formato da due coppie di rocchetti primari e secondari, montati sopra le due branche di un nucleo a ferro di cavallo, il cui circuito magnetico è chiuso o quasi, mediante due pezzi di ferro messi sui poli dei nuclei e insieme congiunti. Tanto

Fig. 129.

il nucleo quanto questi pezzi di congiungimento sono costituiti da sottili lamine di ferro. Oltre che per questo dettaglio, il trasformatore Klingelfuss si distingue ancora per l'avvolgimento

speciale del secondario, ottenuto mediante un processo, di cui il costruttore serba il segreto, ma fatto in modo, che la distanza fra i singoli giri cresca in ragione della loro differenza di potenziale. Le due coppie di rocchetti possono adoperarsi in serie od in quantità.

Misure comparative furono eseguite da H. Veillon [3] sopra un rocchetto di forma solita di 62 cm. di lunghezza e di 22 cm. di diametro, con 322 spire nell'induttore e 153000 nell'indotto, fatte con filo grosso 0,16 mm. e avente 50000 ohm di resistenza complessiva, e sopra un trasformatore Klingelfuss con 112 spire nell'induttore e 18000 spire indotte di mm. 0,2 di

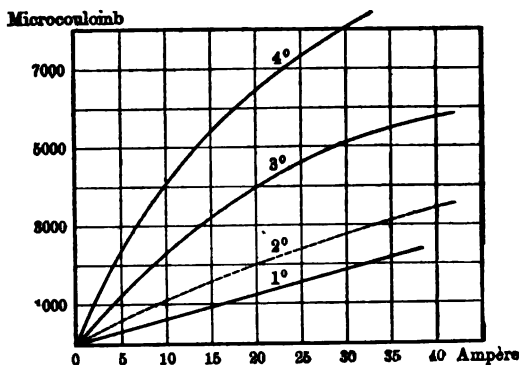



Fig. 130.

spessore e di 8000 ohm di resistenza complessiva. I risultati di queste misure sono rappresentati nella fig. 130, nella quale l'intensità della corrente induttrice fu presa come ascissa, e la quantità di elettricità indotta come ordinata. La curva 1.ª si riferisce al rocchetto di forma solita; la 2.ª al trasformatore Klingelfuss coi due primari in parallelo e senza congiunzione dei poli; la 3.ª alla stessa disposizione, ma col pezzo di congiunzione in posto; ed infine la 4.ª al trasformatore coi circuiti in serie e coi poli riuniti in modo da costituire un circuito magnetico chiuso. Le curve, oltre a mostrare l'importanza della chiusura del circuito magnetico, giacchè con questo le quantità di

elettricità indotta sono quasi triple di quelle ottenute con circuito magnetico aperto, fanno anche vedere la superiorità sotto l'aspetto della quantità di elettricità indotta, del nuovo trasformatore di Klingelfuss sul rocchetto ordinario. La differenza di potenziale ai poli dell'indotto era la stessa nei due apparecchi, e per entrambi la lunghezza delle scintille raggiungeva i 42 o 43 cm.; ma quelle del trasformatore Klingelfuss avevano un'aureola molto più grande di quelle dell'ordinario rocchetto.

51. **Varie forme di interruttori.** — Una varietà maggiore che nei rocchetti si riscontra nei tipi d'interruttori adoperati pei rocchetti d'induzione della telegrafia senza filo. Oltre alle forme classiche descritte già nel § 22, se ne sono costruiti altri, dei quali daremo una descrizione in questo §.

L'antico interruttore a martello vibrante, benchè non sia conveniente per rocchetti capaci di dare delle scintille più lunghe di 25 cm., gode ancora la preferenza di molti sperimentatori, e si trova p. e. anche nelle istallazioni della Wireless Telegraph and Signal Co. Uno degli inconvenienti di questo apparecchio, e cioè la rapidità colla quale resta deteriorato il contatto, specialmente quando si adoperano delle correnti un po' intense, è tolto nel vibratore di Mac Farlane Moore, il quale non è altro che un interruttore a martello rinchiuso, ad eccezione dell'elettrocalamita che agisce sull'âncora, in un'ampolla di vetro contenente aria molto rarefatta. Tuttavia questo apparecchio, forse per la grande sua fragilità, non è entrato nella pratica corrente.

L'interruttore Foucault descritto nel § 22, ottimo per i rocchetti di grandi dimensioni, ha nel caso speciale della telegrafia senza filo l'inconveniente di essere un po' lento; perciò le modificazioni che ha subito, hanno avuto per iscopo principale quello di fargli produrre più rapide interruzioni. Nell'interruttore

è il coherer, *e* la pila, *s* l'indicatore di corrente e *c* il condensatore.

Le prime esperienze, le quali dovevano dimostrare, che la trasmissione non avveniva, nè per mezzo di onde elettriche propagate nell'aria, nè per opera dell'induzione fra circuiti chiusi come nelle esperienze di Preece, e che non si trattava neppure di conduzione nell'acqua, furono eseguite durante l'estate del 1898 nelle fosse delle antiche fortificazioni di Strasburgo. Una di queste fosse aveva la forma tortuosa rappresentata nella fig. 123. La stazione trasmettitrice fu stabilita presso *ab*, ad una delle estremità della fossa, vicino ad un rettangolo a_1 coperto di fabbricati alti, i quali escludevano quasi, secondo il sig. Braun, la possibilità di una trasmissione diretta di onde attraverso l'aria. Questa supposizione, del resto, venne confermata anche dal fatto che, trasportando la stazione ricevitrice lungo la fossa, le esperienze riuscirono perfette, sinchè i fili ricevitori erano immersi nella grande massa d'acqua, mentre l'effetto diminuì in forti proporzioni, appena i fili del ricevitore furono trasportati nel bacino *e*, il quale comunicava colla fossa propriamente detta soltanto per mezzo di un canale largo meno di un metro e profondo di pochi centimetri. Del resto, anche in quest'ultima posizione del ricevitore, l'intensità dell'effetto potè essere portata al valore delle altre posizioni modificando opportunamente l'autoinduzione del trasmettitore.

Fig. 123

Nel corso di altre esperienze, istituite sopra una superficie d'acqua più grande, i fili del ricevitore furono disposti, sia lateralmente sul prolungamento della retta, che congiungeva i

due fili della stazione trasmettente e da uno stesso lato di questa, sia sulla perpendicolare elevata sul punto di mezzo di quella retta. Benchè la prima di queste posizioni eliminasse gli effetti di una conduzione per correnti continue attraverso l'acqua, e la seconda fosse tale da escludere la possibilità di una induzione tra circuiti chiusi, i risultati furono gli stessi come per le altre posizioni del ricevitore, e non possono, tenuto conto anche dei risultati delle esperienze nelle fosse, secondo il signor Braun, attribuirsi ad altra causa all'infuori delle onde elettriche trasmesse attraverso l'acqua.

Delle esperienze in più vasta scala furono fatte più tardi a Cuxhaven, presso l'imboccatura dell'Elba. Benchè si adoperasse soltanto un rocchetto di medie dimensioni, alimentato da 8 elementi Bunsen, e che la disposizione in genere non fosse delle più favorevoli, la trasmissione riuscì fino a 3 chm. di distanza. Malgrado questo esito buono le esperienze furono però abbandonate, di fronte al problema più urgente e più promettente della trasmissione attraverso l'aria.

D'altra parte i Signori Popp e Pilsudski eseguirono nei pressi di Parigi delle prove di telegrafia senza filo, nelle quali, secondo essi, la trasmissione delle onde avveniva, anzichè per l'aria, attraverso il suolo. A tale scopo, l'antenna del sistema Marconi fu sostituita in ciascuna stazione da un filo terminato con una lastra metallica, la quale appoggiava sopra una lastra di vetro collocata sulla terra e spalmata di petrolio, formando così un condensatore, le armature del quale erano la lastra metallica ed il suolo. Alla stazione trasmettente il filo congiunto alla lastra metallica conduceva ad una delle sfere di un oscillatore, mentre l'altra sfera era messa in comunicazione colla terra mediante una grande lastra metallica sotterrata. Similmente, alla stazione ricevitrice il condensatore descritto fu messo in comunicazione con uno degli elettrodi di un coherer, l'altro elettrodo del quale comunicava colla terra. Il coherer, nel modo solito,

certa resistenza nel passare fra il pezzo metallico e la linguetta, comprime l'aria rinchiusa in O, sinchè, quando la pressione ha raggiunto un certo grado, la linguetta si mette a vibrare provocando delle intermittenze regolari della corrente elettrica, tanto da raggiungersi facilmente 100 vibrazioni al minuto secondo. Le interruzioni, secondo il Grimsehl, sono quasi istantanee, e l'acqua, mentre mantiene pulita la superficie del mercurio, impedisce anche il riscaldamento del contatto. Intanto il consumo d'acqua sarebbe minimo, non occorrerebbe una grande pressione, ed il mercurio, che può essere trascinato dalla corrente d'acqua, si depositerebbe poi in un recipiente speciale.

Un interruttore a mercurio di costruzione assai semplice, e che tuttavia permette di far variare entro limiti abbastanza larghi la frequenza delle interruzioni, è quello di Margot [5] (fig. 134). Esso consta di una spirale di Roget di grosso filo di rame ad asse verticale coll'estremità superiore fissata in un sostegno, e coll'estrémità inferiore piegata in giù ed immersa nel mercurio, che copre il fondo di un bicchiere. Nel mercurio, la superficie del quale è protetta da un liquido isolante, pesca pure un altro filo. Qnando la spirale, o per meglio dire l'elica, è percorsa da una corrente, fra le diverse sue spire si produce un'attrazione, per causa della quale essa si raccorcia, e la sua estremità esce dal mercurio; la corrente allora s'interrompe e l'elica, per effetto dell'elasticità e del suo peso, riprende la forma primitiva. I movimenti verticali si amplificano introducendo nell'asse dell'elica un nucleo di ferro dolce; per una corrente di 15 a 20 ampères essi possono oltrepassare 2 cm. Il periodo si fa variare per mezzo di una pinzetta o di un altro arresto, che immobilizza una parte delle spire dell'elica.

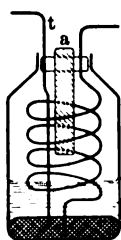
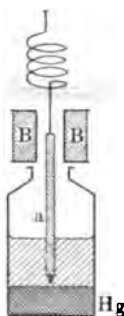



Fig. 134.

Fig. 135.

In un' altro interruttore dello stesso Margot (fig. 135) le interruzioni si producono mediante l' attrazione, che un' asta di ferro o un fascio di fili di ferro sospeso ad un' elica di rame e circondato nella sua parte superiore da un rocchetto, subisce da quest' ultimo, quando questo è percorso da una corrente. La costruzione di questo interruttore non è tanto semplice quanto quella dell' altro, ma in cambio essa consente una frequenza maggiore.

Tuttavia, per realizzare delle interruzioni rapide e nette di correnti molto intense è preferibile, che l' interruttore venga attivato da un apposito motorino elettrico, il movimento rotatorio del quale si trasforma, mediante un eccentrico ed una biella,

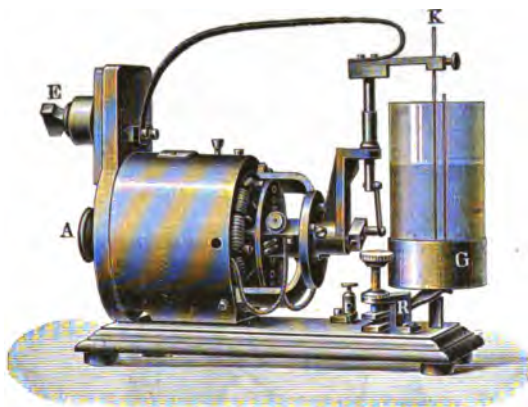



Fig. 136.

nel movimento oscillatorio in senso verticale dell' asta interruttrice. Di questo tipo, il quale non richiede altra spiegazione, sono p. e. gli interruttori di Hirschmann (fig. 136), di Ducretet e Lejeune (fig. 137) ed altri, che sarebbe troppo lungo enumerare. Il vantaggio di questa specie d' interruttori, oltre il movimento esattamente verticale dell' asta, col quale si evita che il mercurio venga spruzzato tutto attorno, come succede nell' interruttore di Foucault, sta nella possibilità di far variare la frequenza variando la velocità di rotazione del motore mediante

l'introduzione di resistenze ausiliarie nel relativo circuito. Un motore elettrico si trova pure nell' interruttore di Hofmei-

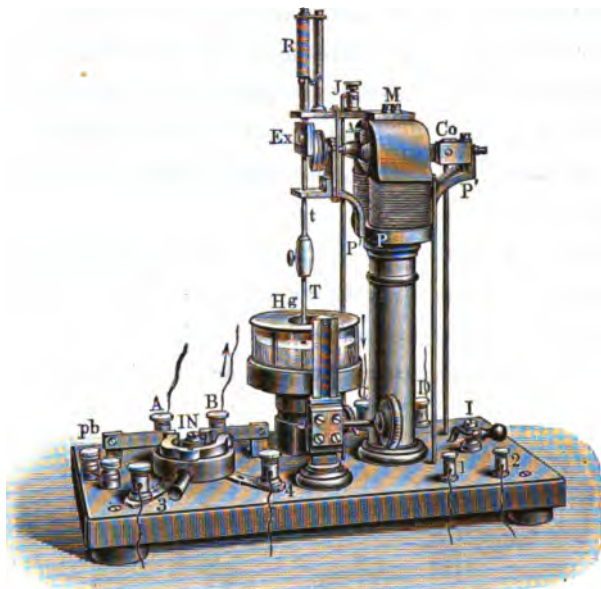



Fig. 137.

ster [6] (fig. 138). Sull'asse del motore sono montati in comunicazione elettrica fra di loro, un disco di rame ed una stella a

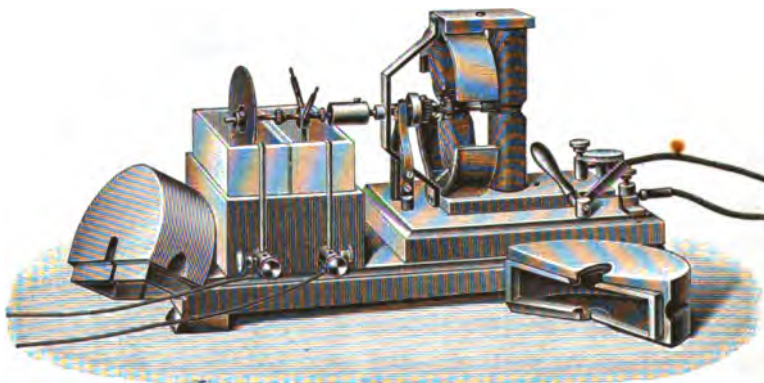
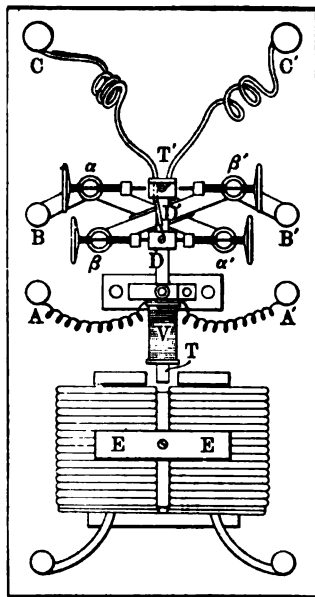



Fig 138.

tre raggi di ferro o di nichelina colle estremità di platino, il disco e la stella essendo in parte contenuti in due separate vaschette di

mercurio, che comunicano coi poli della sorgente di elettricità. La corrente si chiude ogniqualvolta uno dei raggi della stella entra nel mercurio, ed il rapporto fra gli intervalli di chiusura e d'interruzione dipende, come negli altri interruttori a mercurio, dall'altezza del livello di quest'ultimo. La frequenza si fa variare, mediante inserzione di resistenze, fra 60 e 5 interruzioni al secondo. Di fronte agli interruttori ad eccentrico e biella, quello di Hofmeister richiede una forza molto minore. Per togliere poi l'inconveniente che i raggi escano dal mercurio in direzione troppo obliqua, Hauswaldt [7] li piega in forma di ginocchio.

Fig. 139.

Tutti gl'interruttori sinora considerati hanno la proprietà, che pur qualche volta può costituire un inconveniente, che le forze elettromotrici indotte di direzioni opposte nell'interruzione e nella chiusura del circuito non sono, per la diversa durata dei periodi variabili, uguali fra di loro in un valore assoluto. Questo inconveniente non si trova in un interruttore-inversore di Crémieu [8] (fig. 139), il quale ha come parte mobile un pendolo di ferro TT' magnetizzato mediante un rocchetto V percorso da una corrente costante. Il pendolo oscilla tra i poli di una elettrocalamita EE eccitata da una corrente alternata; la corrente arriva ai quattro contatti $\alpha\alpha'\beta\beta'$, di cui α comunica con α', β con β', e riparte per le due armature isolate DD'. Il funzionamento dell'apparecchio non richiede altra spiegazione; diremo soltanto, che i contatti $\alpha\alpha'\beta\beta'$ appoggiano sopra delle spirali, e si regolano in modo, che le interruzioni, quando si

adopera una corrente alternata, si producono nei momenti, nei quali la forza elettromotrice di questa corrente è nulla.

All'apparecchio piuttosto complicato di Crémieu, il quale per funzionare ha bisogno nello stesso tempo di una corrente continua e di una corrente alternata, Turpain [8] ha sostituito

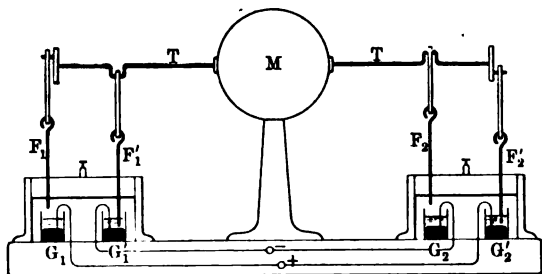



Fig. 140.

l'interruttore inversore della fig. 140, il quale, del resto, differisce da una modificazione già antica dell'interruttore di Foucault unicamente per il fatto, che alle oscillazioni della leva di quest'apparecchio è sostituito il movimento di rotazione di un motorino M.

Una classe d'interruttori, il cui uso va diffondendosi sempre

Fig. 141.

di più, è quella degli *interruttori a getto di mercurio.* A questa classe appartiene l'interruttore a turbina della « Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft » (fig. 141). Una piccola turbina ad

asse verticale e comandata da un motorino elettrico attinge del mercurio dal fondo di un recipiente di ghisa, lo fa salire entro l'asse vuoto della turbina e lo manda fuori attraverso un orifizio stretto, per effetto della forza centrifuga, sotto forma di un getto fino e quasi rigido. Questo getto, animato da un movimento di rotazione in un piano orizzontale, comunica, attraverso la massa del mercurio, con uno dei reofori della corrente, e durante una parte di ciascun giro va ad incontrare un segmento metallico, isolato dal recipiente e comunicante coll'altro reoforo, oppure un anello metallico dentato, disposto alla stessa maniera del segmento. L'uno o l'altro è immerso nell'alcool, che riempie il recipiente. I contatti si producono bene e le interruzioni, quando il getto di mercurio lascia il segmento, oppure viene a cadere nell'intervallo fra due denti, avvengono quasi istantaneamente. Il mercurio, di cui bastano 3 chg., torna a raccogliersi nel fondo del recipiente in una massa omogenea, malgrado che l'azione dell'interruttore lo riduca continuamente in minute goccioline. Infine, due ali elicoidali disposte nel fondo del recipiente impediscono, che tutta la massa del mercurio entri in rotazione. La velocità del motore, e con essa quella della turbina, può essere variata tra 200 e 1000 giri al minuto, ma non deve discendere al di sotto di un certo limite, perchè la turbina richiede per funzionare una determinata velocità minima. Un vantaggio di questo interruttore sta nell'im-

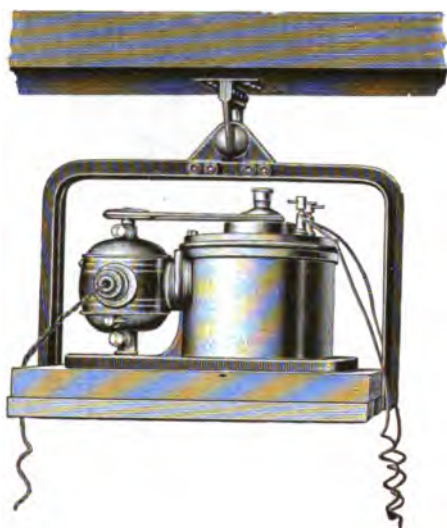



Fig. 142.

possibilità, che resti chiuso il circuito induttore, poichè diffatti una fermata casuale della turbina ha per conseguenza immediata l'interruzione del getto di mercurio. Per poter funzionare nelle stazioni di telegrafia senza filo dei bastimenti, l'interruttore assieme al suo motore è montato in una sospensione cardanica (fig. 142).

Un'altra disposizione dell'interruttore a getto di mercurio è quella di M. Levy (fig. 143). Il getto di mercurio ha una dire-

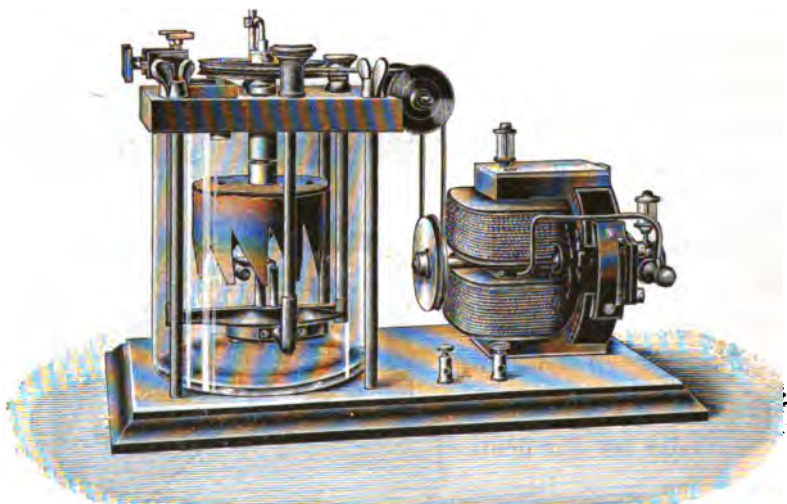



Fig. 143.

zione fissa, ed incontra un anello dentato che ruota restando in comunicazione con uno dei serrafili dell'apparecchio. L'anello dentato può facilmente sostituirsi con un altro, che abbia un numero maggiore o minore di denti. Con un anello di 24 denti si raggiungono delle frequenze fra 120 e 400 interruzioni al minuto secondo. Il rapporto fra i periodi di chiusura e d'interruzione si può far variare, anche mentre funziona l'interruttore, alzando od abbassando con una vite il tubo dal quale esce il mercurio.

Gli interruttori a mercurio, e specialmente quelli del tipo Foucault, hanno l'inconveniente, che sotto l'azione della scin-

tilla il mercurio ed il liquido isolante (alcool oppure olio di vaselina), che lo copre, finiscono col mescolarsi e coll'impedire il funzionamento dell'interruttore, il quale per conseguenza ha bisogno di essere smontato e pulito abbastanza spesso. Sono esenti da questi inconvenienti gli interruttori elettrolitici (vedi § 22) dei quali daremo ora alcuni dettagli di costruzione.

Il liquido dell'interruttore di Wehnelt si riscalda fortemente durante il passaggio della corrente, se la differenza di potenziale

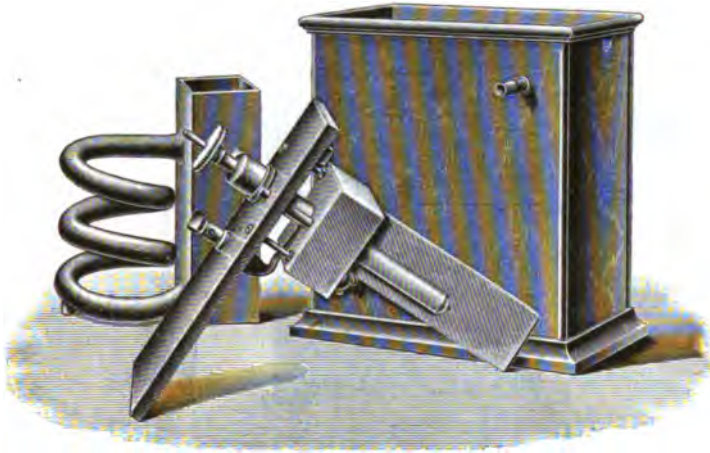



Fig. 144.

fra gli elettrodi supera i 40 o 50 volta, e l'apparecchio cessa di funzionare, quando la temperatura ha superato un certo limite. Una temperatura piuttosto elevata è invece necessaria, se la forza elettromotrice è piccola, per esempio 15 o 20 volta. Perciò nella costruzione di Ernecke (fig. 144), destinata alle grandi forze elettromotrici, il recipiente di piombo si trova circondato di acqua fredda, ed è provvisto di un serpentino laterale, nel quale l'acido diventato caldo entra dall'alto e discende raffredandosi. Invece nel modello di Carpentier (fig. 145), destinato a funzionare con piccole forze elettromotrici, il recipiente di piombo che fa da catodo è circondato da un involucro di feltro, e protetto

ancora da una cassa di legno. In tal modo la perdita di calore è ridotta ad un minimo; ma perchè l'apparecchio possa funzionare bisogna cominciare col riscaldare il liquido sin verso 90°.

L'interruttore di Simon e di Caldwell ha pure ricevuto diverse forme, tra le quali vogliamo citare, oltre il tipo semplice della « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » (fig. 146), inteso a prevenire le esplosioni, che spesso succedevano coi primi apparecchi, anche quello di Turpain (fig. 147) a tre recipienti

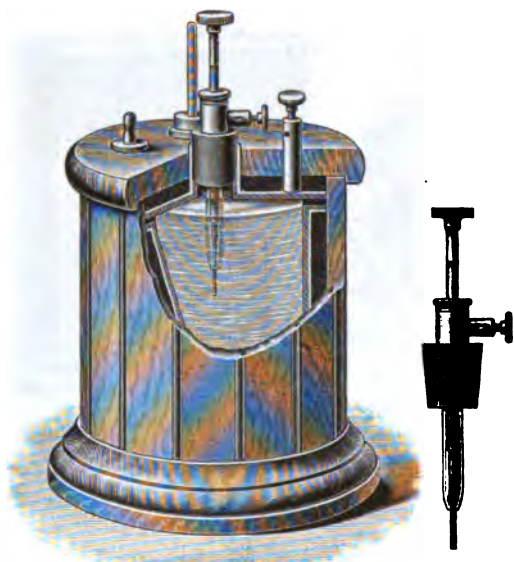



Fig. 145.

disposti l'uno dentro l'altro, i due interni essendo forati, e ciascuno dei tre contenente un elettrodo di piombo. Se il vaso interno ha 3 fori e quello intermedio ne ha 6, si può far funzionare l'interruttore indifferentemente con una forza elettromotrice di 50, di 120 o di 240 volta, secondo che si fa passare la corrente tra l'elettrodo interno *a* e quello medio *b*, oppure tra quello medio *b* e l'esterno *c*, oppure infine tra *a* e *c*, mentre l'intensità della corrente, in tutti i casi, si mantiene tra 10 e 12 ampère.

Si ottiene un'altra forma dello stesso interruttore ponendo entro una grande massa di acido solforico al 10 %, nel quale è

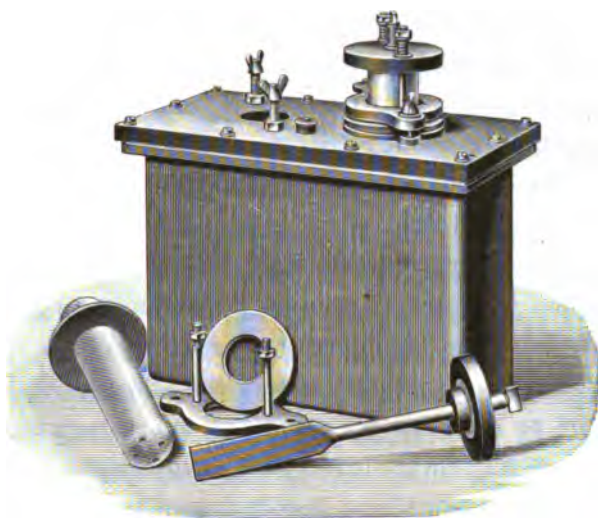
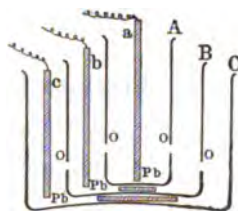



Fig. 146.

immerso uno degli elettrodi, un certo numero di piccoli recipienti di vetro, ciascuno contenente un elettrodo di piombo e provvisto di fori, la grandezza ed il numero dei quali variano da un recipiente all'altro. L'interruttore si adatta allora a forze elettromotrici diverse, facendo passare la corrente dall'elettrodo esterno all'uno o all'altro degli elettrodi interni.

Fig. 147.

Oltre la semplicità di costruzione e la comodità dell'uso, una qualità importante di un interruttore per la telegrafia senza filo dovrebbe essere la frequenza delle interruzioni, che esso è in grado di fornire. Infatti, in seguito al rapido smorzamento delle onde elettriche emesse da un oscillatore, quelle generate da una scarica si spengono assai prima che succeda un'altra emissione per

opera di una nuova scarica. Per cui, più breve è l'intervallo tra due scariche consecutive, più facile diventa anche, a parità di altre circostanze, che l'apparecchio ricevitore possa segnare dei tratti non interrotti di una certa estensione corrispondenti alle lineette dell'alfabeto Morse.

Per tale motivo gli interruttori elettrolitici dovrebbero essere superiori a quelli a mercurio, specie a quelli del tipo Foucault. Ma di fronte a questo vantaggio sta l'inconveniente, che gli interruttori elettrolitici funzionano con minore regolarità specialmente in confronto cogli interruttori a turbina, e con consumo maggiore di energia. E quantunque il Tissot abbia ottenuto, ricorrendo all'interruttore di Wehnelt, le medesime trasmissioni con un rocchetto minore che adoperando altri interruttori con un rocchetto più grande, gli interruttori elettrolitici, all'atto pratico, non sembrano aver fatto sempre buona prova nella telegrafia senza filo, e perciò il loro uso oggi si limita a quei casi, nei quali occorrono delle correnti troppo forti per gli altri tipi d'interruttori. Del resto, certe qualità della scintilla, di somma importanza per la portata delle trasmissioni, non dipendono tanto dal tipo dell'interruttore, quanto dalla disposizione data all'oscillatore. Delle forme date a quest'ultimo nella telegrafia senza filo bisogna ora occuparci.

52. **Eccitatori ed antenne.** — L'oscillatore, colla scintilla che scocca entro olio, il quale fu adoperato da Marconi all'inizio delle sue esperienze, ed anche dagli altri, che per primi le ripeterono, è oggi, come in altro luogo già dicemmo, pressochè abbandonato, gli oli pesanti avendo il grave inconveniente di alterarsi rapidamente quando si adoperano delle scariche forti. Sotto l'azione delle scintille l'olio si scompone; si formano delle particelle di carbone, le quali possono formare un ponte conduttore fra le sfere metalliche, oppure si sviluppano delle bollicine gassose, le quali pure possono compromettere la rego-

larità delle scintille. Con petrolio in luogo dell' olio di vaselina, Blondel dice di aver ottenuto dei buoni risultati: tuttavia anche il petrolio non sembra scevro completamente dagli inconvenienti surriferiti, ai quali se ne aggiungono altri inerenti alla volatilità ed all' accendibilità del liquido. Si è tornati perciò alle sfere nell' aria, le quali, a condizione che ogni tanto si puliscano con carta smerigliata, non hanno neppure bisogno di un rivestimento di platino od oro.

Il numero ed il diametro delle sfere, che costituiscono l' oscillatore, non ha, a quanto pare, molta importanza. A scopo di confronto, Tissot ha fatto delle prove con oscillatori da 4, da 3, e da 2 sfere, e con tutti ottenne buoni risultati. La maggior parte degli sperimentatori infatti sono tornati ai semplici eccitatori del rocchetto di Ruhmkorff costituiti da due aste, che alle loro estremità affacciate portano delle sfere d' ottone, e mediante dei manici isolanti si spostano entro sostegni metallici isolati, comunicanti coi capi del circuito secondario del rocchetto. Il Tissot tuttavia, almeno per distanze limitate, si servì con vantaggio anche di un oscillatore a quattro sfere, mettendo le due sfere esterne in comunicazione coi capi del rocchetto mentre delle due sfere di mezzo l' una comunicava coll' antenna, l'altra colla terra. Si evitava così di rendere asimmetrico il rocchetto, come avviene invece, ed a scapito della lunghezza delle scintille, quando si adopera la disposizione semplice a due sfere, giacchè di queste una bisogna che comunichi coll' antenna, l' altra colla terra.

Segnaliamo, a titolo di curiosità, l' oscillatore di Armstrong e Orling [9], il quale consiste essenzialmente in due sfere metalliche vuote, immerse in olio e sorrette da due canne di vetro. Nell'interno delle sfere si trova un certo numero di palline metalliche, e gli inventori credono di poter influire sul periodo delle oscillazioni emesse dal loro apparecchio, e di metterlo d'accordo col periodo di un ricevitore, variando il numero delle palline, le quali si introducono nella cavità della sfera attraverso un rubi-

netto speciale, che chiude la canna annessa alla sfera. Non occorre far rilevare, che la presenza di queste palline entro conduttori perfettamente chiusi non può avere sensibile influenza sul periodo dell'oscillatore.

La necessità dell'antenna, tanto per la trasmissione quanto per il ricevimento delle onde, è un fatto rivelato sin dalle prime esperienze di telegrafia senza filo. Praticamente non si ottiene la trasmissione a distanze un po' considerevoli, se ciascuna delle due stazioni non è provvista di un'antenna di altezza sufficiente. Del meccanismo della funzione dell'antenna si è già parlato in altra parte di questo libro; si disse pure quale altezza, secondo Marconi, dovrebbero avere le antenne per una determinata distanza fra le due stazioni, e quindi come questa altezza dovrebbe variare al variare della distanza. Il Tissot, dalla media di un gran numero di esperienze, dedusse, che mentre per ottenere una buona trasmissione sopra una distanza di chm. 1,8 occorreva in ciascuna delle stazioni un'antenna alta 12 m., per una distanza tra 7 e 8 chm. bastavano delle antenne di 25 m., e con antenne di 45 m., si potevano mandare dei segnali sino a 40 chm. di distanza. Le esperienze furono eseguite con un coherer di media sensibilità; e per quanto le distanze stesse, con un coherer più sensibile, sarebbero state senza dubbio più grandi, la legge colla quale l'altezza dell'antenna varia al variare della distanza sembra meno semplice, di quanto era risultata dalle prime esperienze di Marconi. Invece non occorre, come già abbiamo visto, che le antenne nelle due stazioni abbiano la stessa lunghezza, purchè la somma delle loro lunghezze rimanga costante. E non occorre neppure che le antenne, o almeno le loro estremità, sieno in vista l'una dell'altra, ed il fatto che Tissot in un caso simile non abbia ottenuto la trasmissione, deve attribuirsi a mancanza di sensibilità nei suoi apparecchi. Le onde di grande lunghezza (probabilmente di 100 e più metri), quali

si adoperano nella telegrafia senza filo, debbono contornare per diffrazione anche degli ostacoli estesi.

Non sembra neppure di grande importanza la condizione, che le antenne si trovino in posizione esattamente verticale, benchè, in generale, si cerchi di soddisfare a questa condizione, il Tissot non osservò nessun peggioramento della comunicazione adoperando antenne inclinate, sinchè l'inclinazione dell'antenna sulla verticale, e l'angolo fra la linea di congiungimento delle due stazioni ed il piano verticale contenente l'antenna, non oltrepassavano i 40°. Tuttavia, quando non è possibile disporre le antenne in senso verticale, è meglio che esse nelle due stazioni sieno parallele fra di loro, e che i piani verticali che le contengono sieno normali alla retta, che congiunge le stazioni.

È importante invece, che la sospensione dell'antenna sia ben isolata. In generale la sospensione viene fatta con pezzi di ebanite portati da un isolatore di porcellana; per tutta la sua lunghezza l'antenna deve tenersi lontana per quanto è possibile dal sostegno che la regge o da altri conduttori, coprendola, nei punti più esposti, con un involucro di guttaperca. Non minore importanza si è data alla condizione, che l'estremità inferiore dell'antenna sia in comunicazione colla terra, giacchè dalla bontà di questa comunicazione si è creduto dipendesse in gran parte la portata dei segnali [1]. Per cui è indispensabile che la comunicazione venga fatta con cura, mediante un filo buon conduttore e di autoinduzione trascurabile. Tuttavia, dalle esperienze di telegrafia da una stazione a terra ad un'altra disposta nella navicella di un pallone, nelle quali quest'ultima faceva da stazione ricevitrice, e naturalmente non poteva avere una comunicazione colla terra, sembrerebbe, che tale comunicazione fosse necessaria soltanto per la stazione trasmettitrice.

[1] Vedremo però come, a questo riguardo, le opinioni più tardi si sieno modificate.

Anche lo spessore ed il materiale del filo che costituisce l'antenna influiscono, sino ad un certo punto, sulle qualità della scintilla nell'oscillatore. E si comprende, infatti, che questa debba essere più nutrita (sebbene, forse, a detrimento del potenziale e, per conseguenza, della sua lunghezza), quando all'oscillatore sono unite delle capacità più o meno grandi. Abbiamo visto, che il Marconi nelle prime sue esperienze aveva adoperato delle grandi lastre metalliche sospese nell'aria e messe in comunicazione cogli apparecchi produttore e ricevitore delle onde; fu anzi a queste superfici metalliche, e non ai fili di comunicazione cogli apparecchi, che si attribuì la massima importanza. In seguito, è vero, le idee si modificarono: tanto il Marconi quanto gli altri, che da quelle prime esperienze erano stati incitati ad occuparsi della telegrafia senza filo, adoperavano come antenne dei semplici fili di rame di 1 mm. di diametro od anche più sottili, sia nudi, sia coperti di un rivestimento isolante, oppure delle corde fatte da un certo numero di tali fili. Per distanze medie si ebbero dei risultati soddisfacenti anche con filo di ferro o d'acciaio in luogo di quello di rame. Tuttavia, coll'aumentare delle distanze alle quali si mandarono dei telegrammi, i perfezionamenti fatti nel senso di una maggiore sensibilità dell'organo ricevitore non furono più sufficienti da soli, e si comprese la necessità di aumentare la capacità dell'antenna, pur mantenendo bassa per quanto è possibile l'autoinduzione. Ed infatti, in quasi tutti i sistemi attualmente in uso oppure proposti, troviamo che il filo o la corda semplice sono abbandonati; si adoperano invece, sia un certo numero di antenne collocate ad una certa distanza l'una dall'altra, sia più fili paralleli disposti in un piano o secondo le generatrici di un cilindro e riuniti alle loro due estremità (antenne Slaby e Guarini, fig. 148), ovvero anche disposti secondo la superficie di un cono col vertice in basso, e congiunti in alto, o direttamente fra di loro, oppure ad una

superficie metallica piana (altra antenna Guarini; antenna Ducretet, fig. 149). Delle antenne più complicate, costituite da fili paralleli riuniti fra di loro ad una od anche alle due estremità,

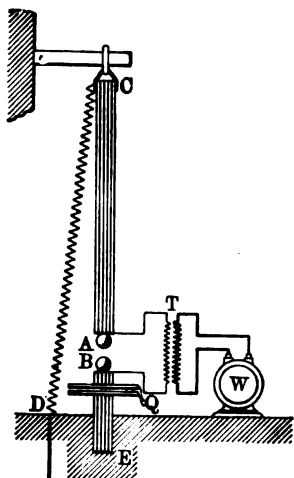
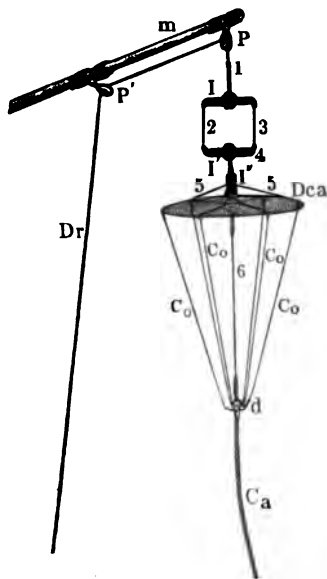



Fig. 148. Fig. 149.

oppure da due di queste disposizioni collocate, sia l'una accanto all'altra e riunite in serie, sia l'una davanti all'altra coi fili incrociati, oppure infine da un filo avvolto in forma di solenoide a sezione di rettangolo allungato, con una lastra o rete metallica introdotta nell'interno del rettangolo (fig. 150), furono proposte da Braun, allo scopo di accrescere l'attitudine ad emettere o a raccogliere le onde, senza aumentare troppo la capacità del sistema. Altri inventori invece hanno avuto soprattutto di mira questo aumento di capacità, come uno dei mezzi per realizzare un accordo nei periodi di vibrazione di due apparecchi trasmettitore e ricevitore. A tale scopo, la « Wireless Telegraph and Signal Company » fornisce ora le sue antenne con due cilindri concentrici, isolati l'uno dall'altro, il cilindro esterno essendo

messo in comunicazione coll' estremità isolata dell' eccitatore o del ricevitore, mentre il cilindro interno comunica coll' altra estremità dell' eccitatore o del ricevitore messa a terra.

Una disposizione simile, costituita da un filo o cavo metallico protetto con uno strato isolante e circondato da una lastra

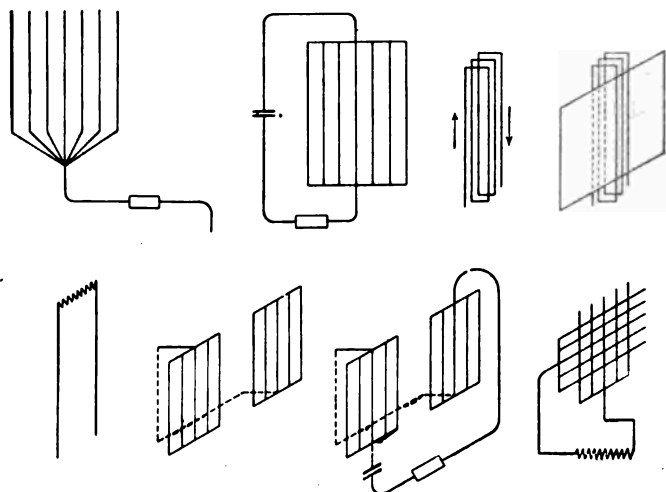



Fig. 150.

metallica piegata a cilindro, del quale però rimane aperta una generatrice, l' adopera il Guarini [10]. Qui però l'apparecchio eccitatore o ricevitore comunica col filo o cavo interno, l'involucro metallico essendo connesso colla terra, e lo scopo della disposizione sarebbe quello di limitare lo scambio dei dispacci a due stazioni, nelle quali le fessure negli involucri metallici delle antenne sieno rivolte l' una contro l' altra. Infatti, secondo l' inventore, l'emissione delle onde dovrebbe aver luogo, colla disposizione descritta, soltanto entro un piano normale alla superficie del cilindro nella linea lasciata libera nell'involucro, o tutt' al più entro un piccolo angolo dai due lati di tale piano; ed analogamente, l'antenna ricevitrice raccoglierebbe esclusivamente o quasi quelle onde, che gli giungerebbero entro un piano

analogamente disposto. La corrispondenza fra due stazioni sarebbe allora possibile soltanto a condizione di far coincidere i piani di emissione o di ricevimento delle due stazioni, mentre un terzo apparecchio qualunque potrebbe intercettare i dispacci, soltanto nel caso che si trovasse su quel piano colla generatrice libera dell'antenna rivolta verso l'apparecchio trasmettente. È assai dubbio però che la disposizione descritta valga a limitare efficacemente, specie a distanze grandi, la zona, entro la quale si propagano le onde generate da un eccitatore. La stessa critica si applica anche alle disposizioni simili proposte nel brevetto di Schäfer, Renz e Lippold [11].

Nè maggiore fiducia ispirano le antenne proposte da due inventori americani, Kitsee e Wilson, allo scopo di determinare la direzione donde pervengono delle onde elettriche. L'apparecchio di Kitsee (fig. 151) [12] è costituito da 4 placche metalliche isolate, b b_1 b_2 b_3 sorrette da un palo comune e rivolte verso i quattro punti cardinali dell'orizzonte. Le quattro placche sono riunite separatamente, mediante quattro fili c c_1 c_2 c_3 a quattro apparecchi ricevitori d d_1 d_2 d_3, le altre estremità dei quali comunicano col suolo. Invece di quattro, l'inventore propone anche 6 placche ed altrettanti apparecchi separati; egli crede che ciascuna placca debba reagire di preferenza, se non esclusivamente, alle onde, che le arrivano da una determinata direzione. Ma l'assieme delle osservazioni fatte nella pratica della telegrafia senza filo fa ritenere, che degli apparecchi disposti in tale vicinanza l'uno dell'altro saranno ugualmente impressionati, e che l'orientazione particolare delle lastre terminali non potrà menomamente modificare questo risultato.

La stessa critica vale pure per un'altra invenzione di Kitsee e Wilson [13], la quale del resto non è che una variante della precedente. L'albero G (fig. 152) porta alla sua estremità una sfera metallica H, congiunta per mezzo del filo k al ricevitore k_1, il quale d'altra parte comunica col suolo. Una lastra metal-

lica I, la quale forma un segmento di sfera di raggio maggiore della sfera H e concentrico a questa, può essere messa in rotazione attorno ad H per mezzo di un ingranaggio i_2 e della catena senza fine j_2; l'orientazione di I si legge sopra una graduazione disposta a piedi dell'albero. La lastra I è isolata e comunica con un altro ricevitore m_1. Gli inventori sono d'opinione,

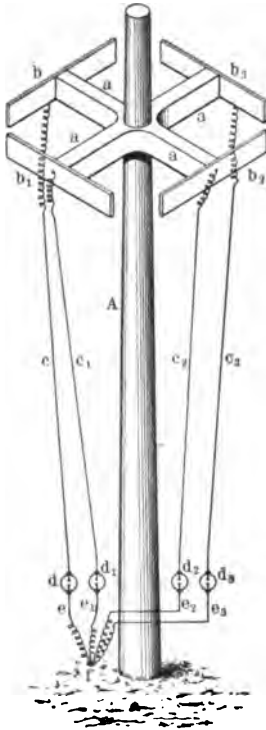
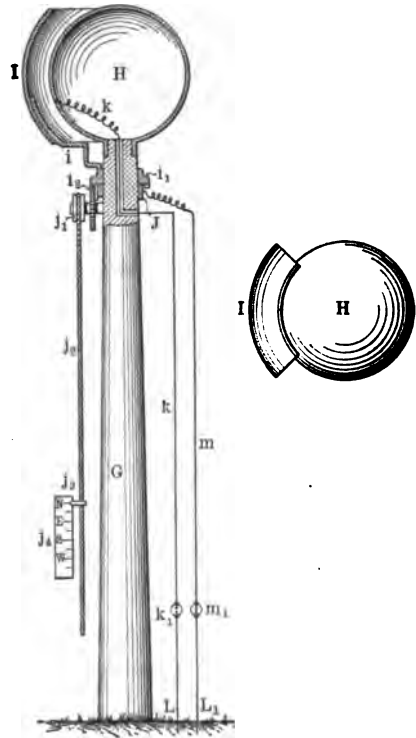



Fig. 151. Fig. 152.

che il movimento di 1 possa dare delle informazioni sulla direzione dalla quale pervengono delle onde, giacchè, quando I si trova in questa direzione davanti alla sfera H, il ricevitore k_1 dovrebbe cessare di funzionare e funzionerebbe invece quello m_1. Ma è probabile, che anche in questo apparecchio i due ricevitori saranno influenzati contemporaneamente.

53. Forme varie di indicatori d' onde. — L'organo principale di una stazione ricevitrice per la telegrafia senza filo è il radioconduttore, il quale all'azione delle onde elettriche emesse dall'altra stazione risponde con una variazione, permanente o transitoria che sia, della resistenza, che esso offre al passaggio di una corrente elettrica. A tutt'oggi l'indicatore quasi universalmente adoperato è il tubo a limatura o coherer; gli sforzi degli inventori, più che a sostituirlo con altri mezzi, furono rivolti ad aumentarne la sensibilità e a dargli la forma più adatta per i bisogni della pratica. Conosciamo già la forma adottata da Marconi sin dalle prime esperienze, la quale è rimasta in uso presso la « Wireless Telegraph and Signal Company ». Una lieve modificazione l'hanno subita soltanto gli elettrodi d'argento, le superfici terminali dei quali, anzichè parallele, furono tagliate obliquamente (fig. 153), in modo da lasciare fra di esse uno spazio cuneiforme; ma neppure questa modificazione sembra generalmente adottata, ed in alcuni altri sistemi di telegrafia senza filo si adopera tuttora un coherer non molto differente da quello della Compagnia inglese. Tuttavia, siccome il coherer di Marconi deve la sicurezza e la sensibilità del suo funzionamento, oltrechè ad una scelta giudiziosa dei grani di limatura, a precauzioni minuziose nella sua fabbricazione, si è cercato di raggiungere lo stesso risultato in condizioni più facili a realizzarsi. Così il Blondel, per poter variare la sensibilità del coherer dopo che sia già terminato, e per poter restituirgliela quando esso l'avesse perduta, unisce al tubo principale, e proprio di fronte all'intervallo fra gli elettrodi, un tubo laterale piegato ad U capo-

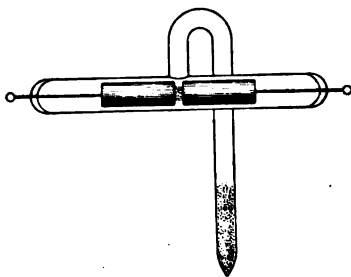



Fig. 153.

Fig. 154.

volta (fig. 154), il quale contiene nel ramo piegato in giù una riserva di limatura; movendo opportunamente questo coherer, si può togliere della limatura dall'intervallo che si trova fra gli elettrodi, oppure aggiungerne, o anchè rinnovarla interamente. Per impedire poi che la limatura, passando negli interstizi tra gli elettrodi e la parete del tubo di vetro, vada a disperdersi fuori degli elettrodi, al di là di questi ultimi sono disposti dei tappi, fatti con amalgama da dentista, il quale, introdotto in istato pastoso, diventa duro ed aderisce dopo qualche tempo al vetro.

Un altro coherer dello stesso tipo è quello di Ducretet (fig. 155), nel quale i contatti colla limatura sono fatti semplicemente con fili di platino.

Un elemento importante per la sensibilità come per la sicurezza del funzionamento del coherer è il grado d'ossidazione della limatura. Invece del miscuglio di limature di metalli diversi, adoperato da Marconi, il Blondel preconizza l'uso di limature di leghe formate da un metallo ossidabile ed uno non ossidabile, il miglior rapporto fra i due metalli dovendosi regolare a tentativi. Buoni risultati si ottengono, secondo Blondel, con leghe di argento e nichel o rame (monete di nichel svizzere o americane, monete d'argento russe).

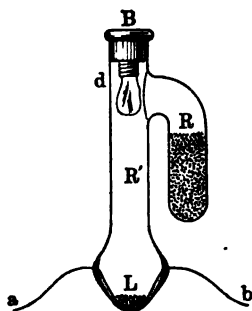



Fig. 155.

Con una proporzionale piccola del metallo ossidabile si ottengono delle leghe, le quali si ossidano soltanto col riscaldamento. Riscaldandola opportunamente, si può allora dare alla limatura già preparata il grado d'ossidazione richiesto, che non subirà ulteriori modificazioni alla temperatura ordinaria.

E. Ducretet nella sua « Guida pratica per la telegrafia senza filo » dà delle prescrizioni minuziose per la preparazione dei radioconduttori. Come metallo egli preferisce il nichel puro;

mediante una lima grossolana se ne fa una limatura costituita da grani a spigoli vivi, e si conservano per l'uso quelli soltanto i quali sono trattenuti da un setaccio n.° 120 (120 maglie al pollice quadrato), e passano invece attraverso un setaccio n.° 80 (contenente 80 maglie al pollice quadrato). Questa limatura viene poi riscaldata all'aria sopra una superficie d'acciaio levigata, sinchè l'acciaio abbia preso un colore giallo oro; allora la limatura ha acquistato il grado d'ossidazione richiesto e lo conserva, purchè venga tenuta in un ambiente secco. Il radioconduttore stesso di Ducretet è rappresentato nelle fig. 156 e 157. Il tubo è di ebanite; come elettrodi servono dei cilindri di nichel,

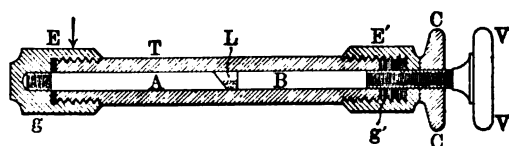



Fig. 156.

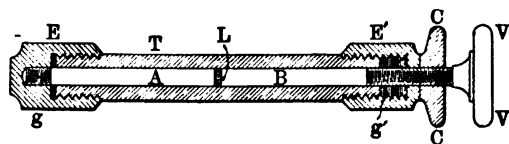



Fig. 157.

oppure anche di ferro, di argentana o di argento, colle superfici affacciate ben levigate; l'una di queste superfici è obliqua, l'altra è normale all'asse del tubo. Si può facilmente regolare l'estensione dei contatti fra la limatura e gli elettrodi, e con essa la sensibilità del tubo, spostando uno degli elettrodi mediante una vite, che passa per un'armatura metallica fissata ad una estremità del tubo, mentre l'elettrodo opposto è tenuto fermo in un'altra armatura. Le due armature servono nello stesso tempo per mettere il radioconduttore in circuito col resto degli apparecchi. In questo coherer, come nell'altro dello stesso

costruttore e del quale abbiamo dato la figura, non è fatto il vuoto; secondo il costruttore, la costanza della sensibilità si raggiunge ugualmente mantenendo semplicemente asciutta l'aria mediante un pezzettino di carburo di calcio.

In modo più semplice ancora la variazione della sensibilità è ottenuta nel coherer della « Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft ». Questo, infatti, ha i due elettrodi con faccie oblique;

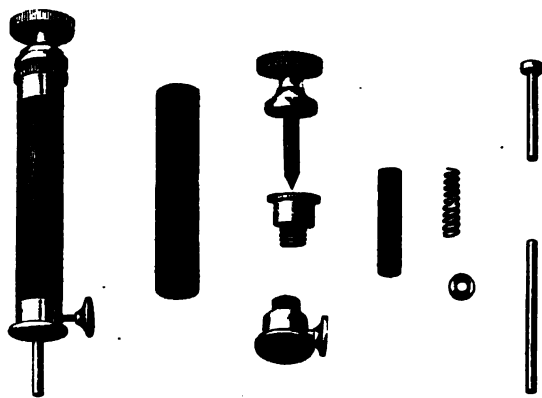



Fig. 158.

basta far girare attorno al proprio asse il coherer, perchè la limatura, la quale non riempie tutta la sezione del tubo, si distribuisca sopra un intervallo più o meno largo fra i due elettrodi.

Il coherer della « Gesellschaft für drahtlose Telepraphie », il quale nell'assieme e nelle varie sue parti si vede nella fig. 158, è costituito con polvere d'acciaio indurito, adagiata entro un tubo di ebanite tra le faccie levigate di due elettrodi d'acciaio. Nel coherer non è fatto il vuoto. Gli elettrodi traversano delle armature metalliche fissate alle estremità del tubo di ebanite; uno di essi si fa avanzare o retrocedere mediante una vite, l'altro si prolunga esternamente in un'asta, la quale è soggetta all'azione di una calamita permanente. Spostando opportuna-

mente i poli di questa e magnetizzando in tal guisa il coherer, se ne fa variare la sensibilità.

Secondo Tissot, del resto, una sensibilità estrema del tubo a limatura, anzichè essere desiderabile, può persino presentare degli inconvenienti, almeno sinchè si tratta di ricevere dei segnali soltanto da distanze mediocri. Come limatura meglio adatta egli ha trovato quella di nichel leggermente ossidata, quale l'adopera anche Ducretet, di grossezza compresa fra 80 e 100 (vale a dire formata da granelli passanti per un setaccio di 80 maglie al pollice quadrato e trattenuti da uno con 100 maglie), od anche la limatura d'argento coperta con un lieve strato di solfuro (grani fra 100 e 120), oppure infine la limatura di acciaio al cromo (grani fra 100 e 120).

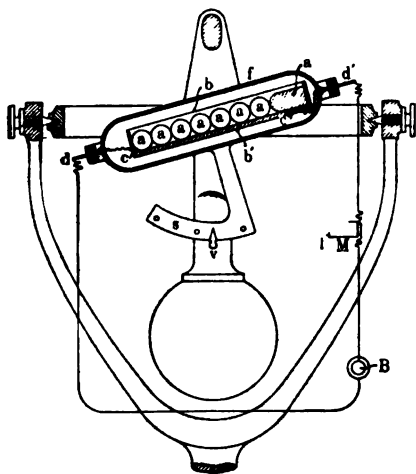
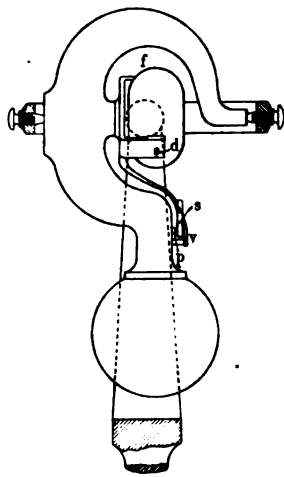



Fig. 159. Fig. 160.

Per poter regolare a volontà la sensibilità del coherer, A. Orling e G. Braunerhjelm [14] propongono un tubo più o meno vuotato dall' aria (fig. 159 e 160), nel quale si trova una serie di sfere conduttrici disposte fra due elettrodi. La sensibilità di un tal radioconduttore dipende dalla pressione reciproca

fra le sfere, la quale si fa variare facilmente inclinando più o meno il tubo mediante il congegno, che si vede nella figura. Affinchè il tubo conservi l'inclinazione voluta, esso è portato da una sospensione cardanica.

In un altro apparecchio inventato pure da Orling e Braunerhjelm [15] per raggiungere il medesimo scopo le sfere, anzichè in una fila, sono disposte in due file sovrapposte, come mostra la fig. 161. La distanza fra le sfere della fila inferiore, dalla

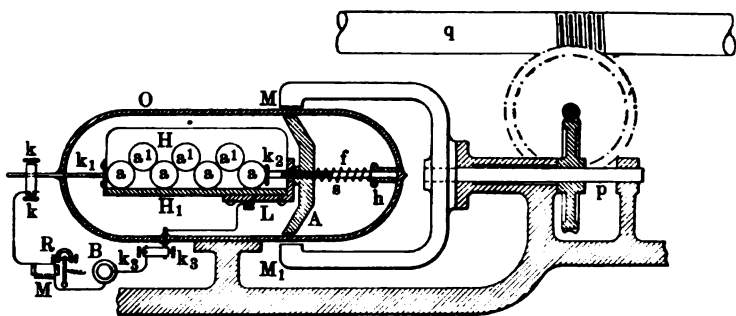



Fig. 161.

qual distanza dipende la pressione fra le sfere delle due serie, regolata dalle azioni antagoniste della molla a spirale *s*, che fa avanzare l'asta *f*, e del pezzo di ferro A, la posizione del quale si regola colla calamita M, che può ricevere lenti spostamenti da un sistema d'ingranaggi comandato da una vite perpetua.

Per ricondurre il radioconduttore alla resistenza primitiva, cessata che sia l'azione delle onde, occorre, come già vedemmo precedentemente, che il tubo riceva una leggera scossa. Questa non deve essere nè troppo lieve nè troppo forte, perchè nel primo caso potrebbe mancare l'effetto, mentre nell'altro essa farebbe presto diminuire la sensibilità dell'istromento. È indifferente, d'altra parte, il mezzo a cui si ricorre per produrre lo scuotimento. Il Lodge aveva adoperato una suoneria mossa da una forza meccanica ; ma è preferibile il martellino elettrico introdotto per questo scopo da Popoff, ed adottato anche da

Marconi e da altri inventori di sistemi di telegrafia senza filo. Si è visto nel § 46 come funzioni il martellino nella disposizione di Popoff. Quella di Marconi è un po' diversa, giacchè il martellino colpisce il radioconduttore nel momento, nel quale è attratto dall'elettrocalamita. Il circuito di quest'ultima allora s'interrompe, dopo che il coherer è già stato colpito, e perchè la scintilla d'interruzione dal canto suo non agisca su di esso, occorrono quelle precauzioni speciali, che descrivemmo parlando degli apparecchi Marconi.

Negli apparecchi Ducretet invece, come nell' apparecchio originale di Popoff, il martellino viene a colpire il tubo soltanto nel movimento di ritorno che compie sotto l' azione di una molla dopo essere stato attratto dall'elettrocalamita.

In tale modo la scintilla d'interruzione, essendosi prodotta quando la limatura era ancora conduttrice, non può avere un'influenza nociva. Si è voluto anche attenuare questa influenza nociva, quando essa può manifestarsi, collocando l'elettrocalamita lontano dal coherer e trasmettendo al martellino il movimento dell'àncora mediante il congegno pneumatico dei tamburi di Marey; ma anche con questa disposizione, come con quella precedentemente descritta, rimane sempre l'azione delle interruzioni di corrente nell'apparecchio Morse e nel soccorritore, che conviene sia attenuata mediante le derivazioni già descritte.

Il Rupp [16], per restituire continuamente alla limatura la resistenza elevata, pur facendo a meno del martellino elettrico, impartisce al coherer, per opera dello stesso meccanismo che fa avanzare la striscia di carta dell' apparecchio Morse, un continuo movimento di rotazione attorno al proprio asse. Un altro inventore, il Dell [17], per raggiungere lo stesso scopo vorrebbe costituire il coherer con un imbuto, dall' orifizio del quale scenderebbe una specie di pioggia continua di limatura; ma nè queste disposizioni nè altre simili sembrano chiamate ad un successo pratico.

La sensibilità di un coherer fatto con limatura di un metallo magnetico, come il ferro, il nichelio od il cobalto, può essere accresciuta notevolmente, come ha osservato il Tissot [18], quando lo si colloca in un campo magnetico colle linee di forza parallele all'asse del coherer medesimo. In pari tempo il funzionamento del radioconduttore diviene più regolare e sicuro. Il campo magnetico può essere fornito da un'elettrocalamita, ed allora è facile regolare la sensibilità dello strumento variando la corrente magnetizzante.

Si ha poi anche il vantaggio di potere adoperare una pila di forza elettromotrice non tanto piccola. Infatti, come abbiamo visto in altra parte di questo libro, quella f. e. m. non deve superare un certo valore limite, affinchè il tubo, quando viene scosso dopo cessata l'azione delle onde, possa riprendere la sua resistenza elevata.

Ora, questa forza elettromotrice cresce colla distanza tra gli elettrodi, la quale, mentre nei coherer ordinari, senza che resti troppo diminuita la loro sensibilità, non può superare un mm., nel coherer magnetico invece, secondo Tissot, può facilmente essere portata a 6 od anche a 8 mm. La sensibilità si regola poi con particolare facilità, quando anche gli elettrodi del coherer sono costituiti da un metallo magnetico, giacchè in questo caso, come già abbiamo visto nel radioconduttore della « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie », il campo magnetico si crea e si fa variare collocando più o meno vicino al coherer una semplice calamita permanente a ferro di cavallo. Il Tissot colloca questa calamita al di sopra del tubo, ai cui elettrodi egli dà una forma simile a quella rappresentata nella fig. 153.

Quando il campo magnetico è generato da una elettrocalamita o da un rocchetto, diventa possibile fare a meno del martellino e della sua elettrocalamita, giacchè colla soppressione del campo magnetico, la quale può effettuarsi facendo in modo che il soccorritore interrompa la corrente che lo produce, ha luogo

la *decoesione*, ossia il ritorno alla resistenza elevata primitiva, sia in seguito alla leggiera trepidazione del coherer, sia con automatismo perfetto pel semplice fatto della soppressione del campo magnetico.

Non mancano proposte per utilizzare questa proprietà del coherer magnetico. A. Turpain [19] sospende il coherer in posizione verticale, in modo però che possa girare intorno ad un asse orizzontale (fig. 162). All'estremità inferiore, il tubo porta una armatura di ferro *b* la quale viene attratta da una elettrocalamita A.

Fig. 116.

L'apparecchio funziona nel modo seguente. Quando il coherer, per essere colpito da onde elettriche, è traversato dalla corrente della pila π, il soccorritore R, attivato da questa corrente, attrae la propria àncora *m*, la quale abbandona il contatto δ e stabilisce il contatto γ. Rimane interrotto in tal modo il circuito del rocchetto B, il quale, percorso dalla corrente della pila π', aveva fornito il campo magnetico attorno al tubo del coherer, mentre ora le pile π' e *p'* riunite mandano la loro corrente nell'elettrocalamita A, la quale, attraendo l'armatura di ferro *b*, fa oscillare il coherer attorno all'asse di sospensione. Allora la leva *l*, attaccata a *b*, abbandona il contatto α e raggiunge quello β, le pile *p* e π si aggiungono fra di loro e fanno agire l'apparecchio telegrafico T; ma nello stesso tempo, non esistendo più il contatto α, rimane interrotta la corrente del soccorritore, e l'àncora *m* torna a chiudere il circuito dell'elettrocalamita B, mentre la lieve scossa subita dal tubo del coherer durante la sua oscilla-

zione è stata sufficiente per distruggere la conduttivivà della limatura. Tutto dunque è tornato nelle condizioni primitive e dovrà rimanervi, se è cessata anche l'azione delle onde; continuando invece questa azione, gli stessi movimenti si ripeteranno sinchè essa dura, ed il tubo del coherer vibrerà con rapidità sufficiente perchè l'apparecchio telegrafico, anzichè dei segni interrotti, possa registrare un segnale continuo. Il Turpain perciò ritiene, che la disposizione descritta, benchè costruita anzitutto

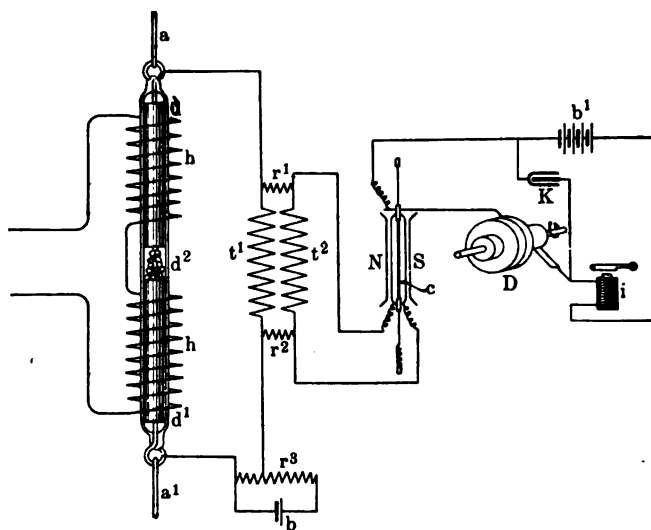



Fig. 163.

per altri scopi, debba prestarsi per attivare un telegrafo rapido, per esempio il telegrafo Hughes, mediante le onde elettriche.

A. Brown [20] adopera un coherer magnetico, e ne provoca la decoesione sia per mezzo di un rocchetto percorso da una corrente alternata, sia per mezzo di una calamita permanente. Nella fig. 163 d d^1 è il coherer con elettrodi di ferro e limatura di nichelio. I fili a a_1, servono a ricevere le onde ed a mettere a terra il coherer. La decoesione avviene continua-

mente per mezzo dei rocchetti *hh*, che circondano il coherer e che sono percorsi da una corrente alternata.

Il coherer, quando è diventato conduttore, è percorso da una corrente presa sul reostato r_3 che chiude il circuito della pila *b*; le variazioni d'intensità di questa corrente producono delle correnti indotte nel trasformatore t_1 t_2, le quali, percorrendo il rocchettino mobile *c* di un soccorritore polarizzato NSD, fanno chiudere il circuito della pila b_1, la quale mette in azione l'elettrocalamita *i* di un apparecchio Morse.

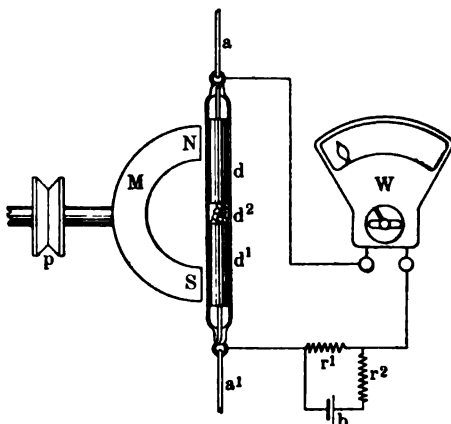



Fig. 164.

In un altro apparecchio (fig. 164) l'inventore provoca la decoesione, pure in maniera continua, mediante la rotazione di una calamita permanente.

Nell'uno come nell'altro di questi apparecchi la registrazione dei segnali, che giungono all'apparecchio ricevitore, può effettuarsi, secondo la proposta dell'inventore, anzichè con un apparecchio Morse, per mezzo di un soccorritore inserito nel circuito del coherer, di cui fa parte un rettangolo di filo I (fig. 165), mobile attorno ad un asse verticale e sospeso in un campo magnetico. Le deviazioni che questo rocchettino, il quale è inserito direttamente nel circuito del coherer, subisce

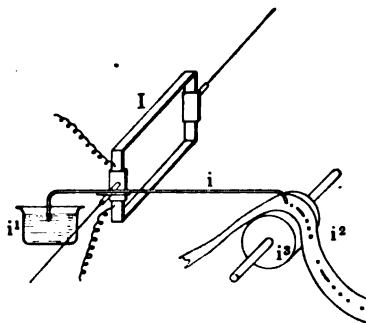



Fig. 165.

per opera delle correnti suscitate dalle onde elettriche, sono registrate mediante un apparecchio a sifone connesso col rocchettino.

Lo stesso inventore si serve anche di un coherer a contatto unico (fig. 166) tra una punta metallica *p* ed una piastra metallica *d* fissata ad una lamina di ferro. Questo contatto fa circuito con una pila ed un telefono. La decoesione avviene per mezzo dell'elettrocalamita *h* eccitata continuamente con una corrente alternata; stando all'inventore, il suono corrispondente alla frequenza di questa corrente dovrebbe apparire nel telefono soltanto mentre il contatto sta sotto l'influenza di onde elettriche; ma non vi è ragione perchè la lamina non debba vibrare, e nel telefono non abbia da prodursi lo stesso

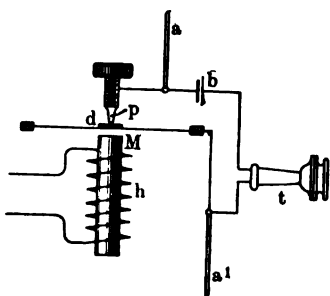
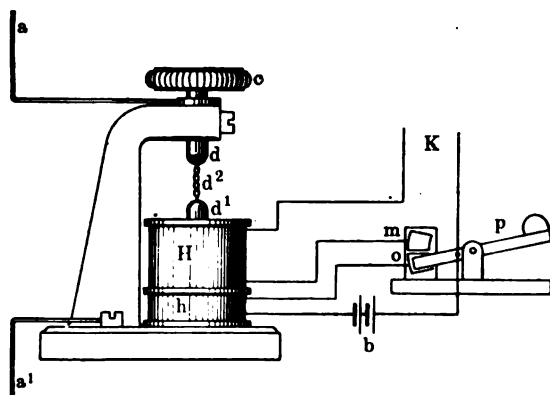



Fig. 166.

Fig. 167.

suono, anche senza l'intervento di onde elettriche, per il solo effetto dell'attrazione intermittente dell'elettrocalamita *h* eccitata dalla corrente alternata.

Un altra forma di coherer dovuta allo stesso inventore, e nella quale pure la decoesione è prodotta mediante una elettrocalamita a corrente alternata è rappresentata nella fig. 167. L'idea dell'apparecchio ricorda certe esperienze del Tommasina, delle quali venne fatto un cenno in altra parte di questo libro. Infatti, fra i due elettrodi del coherer, disposti in linea verticale e l'uno dei quali si può spostare mediante una vite, la limatura costituisce una specie di catena, la quale però, quando non agiscono le onde, è tenuta nella sua posizione verticale solo per il fatto, che la limatura è magnetica e che l'elettrodo inferiore è il polo di una elettrocalamita eccitata da una corrente continua, che percorre l'avvolgimento *h*. Quando è cominciata l'azione delle onde, mediante una manovra del tasto *p* si interrompe la corrente nell'avvolgimento *h*, e si manda nell'altro avvolgimento H una corrente alternata, la quale provvede alla decoesione.

Che, del resto, il sistema di decoesione con elettrocalamite a corrente alternata oppure con calamite mantenute in rotazione non sia riuscito a soddisfare completamente lo stesso inventore, lo dimostra il fatto, che egli pure, assieme ai vari apparecchi di cui ora ci siamo occupati e nel medesimo brevetto, descrive anche un coherer, accanto al quale, oltre ad una calamita permanente in posizione stabile, si trova il solito martellino elettromagnetico per provocare la decoesione. Non è altro, si vede, che l'apparecchio di Tissot, colla sola differenza che il coherer, anzichè orizzontalmente, è disposto, come negli altri apparecchi di Brown, coll'asse verticale.

Fig. 168.

Un coherer a decoesione magnetica fu già proposto da Lodge e Muirhead [21]. La limatura (fig. 168) è distribuita in uno strato *e*

sopra una laminetta flessibile f, sotto la quale si trova una calamita NS. La laminetta alla estremità f_1, è protetta con una vernice isolante e sta in contatto colla limatura verso l'altra estremità. Una seconda laminetta g, sulla quale premono le molle $g_1 g_1$, appoggia sulla limatura.

Quando la limatura, sotto l'influenza di onde elettriche, è diventata conduttrice, ed una corrente di una certa intensità passa da f a g oppure in senso inverso, vale a dire nell'uno come nell'altro caso in direzione press'a poco parallela alla linea che congiunge i poli della calamita, la laminetta f, per l'azione del campo magnetico, subisce una flessione più forte, la quale, secondo gli inventori, basta a distruggere la coesione prodottasi tra le particelle della limatura ed a preparare quest'ultima a ricevere un'altro impulso di onde elettriche.

Nel coherer di Armstrong ed Orling [22], costituito con sfere d'acciaio rinchiuse entro un tubo isolante collocato in posizione orizzontale, la decoesione si produce mediante due elettrocalamite disposte sopra e sotto il tubo stesso. Dalla relativa descrizione risulta, che le elettrocalamite verrebbero eccitate con una corrente loro propria, chiusa mediante il soccorritore attivato dalla corrente del coherer. Nel coherer di Collins [23], la forma del quale ricorda il coherer di Tissot con elettrodi a faccie oblique, l'elettrocalamita, che è disposta sopra la limatura e che coll'attrazione sua su quest'ultima deve distruggerne la conducibilità, viene inserita nello stesso circuito del coherer. Ma è evidente che una corrente, la quale, perchè sia assicurato il buon funzionamento del coherer, non deve superare pochi milliampères, non può generare un campo magnetico abbastanza intenso per esercitare sulle limature rinchiuse nel tubo un'attrazione sufficiente.

La decoesione magnetica si trova, sotto una forma un poco diversa, anche in uno fra i vari apparecchi brevettati da Maréchal, Michel e Dervin [24]. Si tratta, infatti, di un coherer a

contatto unico tra l'estremità di una vite ed un diaframma da telefono, l'elettrocalamita di quest'ultimo provocando la decoesione quando il suo rocchetto è percorso dalla stessa corrente, che traversa il contatto. L'apparecchio è rappresentato nella fig. 169. Sull'anello isolante, che circonda il diaframma *b* di un telefono *a*, è fissato un sostegno *c*, nel quale si sposta la vite *d*; è il contatto tra quest'ultima ed il diaframma che costituisce il coherer. Quando il contatto è diventato conduttore per opera delle onde elettriche raccolte dall'antenna *f*, la cor-

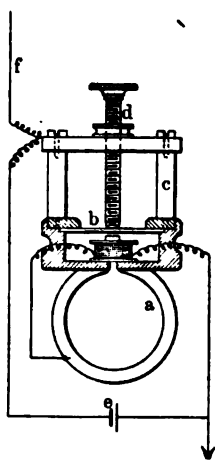
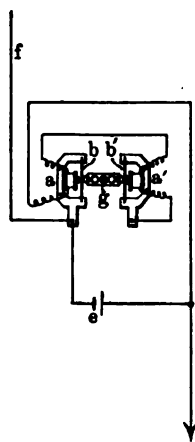



Fig. 169. Fig. 170.

rente della pila *e* passa da *b* ad *a*, ed eccita l'elettrocalamita del telefono, la quale, esercitando la sua attrazione su *b*, distrugge il contatto appena stabilito.

In un altro apparecchio (fig. 170) si adoperano due telefoni, fra le lamine affacciate dei quali è disposta una serie di sfere metalliche; anche qui il contatto si distrugge perchè le elettrocalamite, eccitate per opera della corrente della pila quando il coherer è diventato conduttore, attraggono i propri diaframmi. Per funzionare bene, le diverse parti di questo apparecchio hanno bisogno di essere regolate per mezzo di congegni, che si

vedono nella fig. 171. I due telefoni si possono alzare od abbassare mediante le colonne *ii'*; inoltre il sostegno di uno di

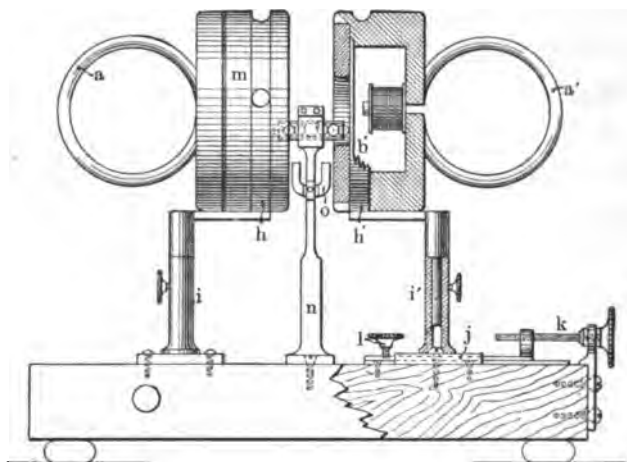



Fig. 171.

essi è mobile in senso orizzontale mediante una slitta comandata da una vite micrometrica *k*. Si fa variare così la pressione fra le sfere del coherer e fra queste ed i diaframmi. Le sfere sono fatte con un metallo magnetico (ferro od anche nichel), e la sensibilità del coherer è aumentata per mezzo di una piccola calamita *o*, la quale si può avvicinare più o meno alle sfere stesse. Infine, i telefoni essendo mobili entro gli anelli *h*, si possono variare i punti nei quali le sfere toccano i diaframmi, e ricercare quelli che offrono la maggiore sensibilità.

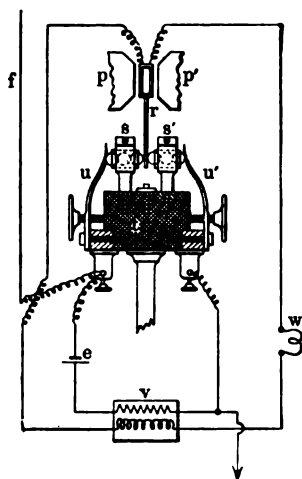



Fig. 172.

Nella fig. 172 si vede un altro apparecchio, dovuto agli stessi inven-

tori, nel quale la corrente, nata per effetto dell'azione delle onde sopra un coherer, invece di attraversare direttamente un telefono, agisce per induzione sopra un altro circuito, nel quale è inserito un ricevitore *w*, che può essere un telefono. Il coherer è costituito da una serie di sfere *ss'* collocate fra due molle *uu'*, di cui si può regolare la pressione. Fra le due sfere medie passa una striscia metallica *r* connessa al telaio mobile di un soccorritore polarizzato *pp'*. Il circuito di una pila *e* si chiude attraverso il primario di un trasformatore *v*, nel secondario del quale sono inseriti il ricevitore *w* ed il telaio mobile del soccorritore. Le onde raggiungono il coherer per mezzo dell'antenna *f*. Si comprende facilmente come, quando l'intensità della corrente nel circuito del coherer aumenta in seguito all'aumentata conduttività di quest'ultimo, nel secondario del trasformatore debba nascere una corrente indotta, la quale, mentre si manifesta nel ricevitore, dà pure al telaio del soccorritore e con esso alla striscia *r* uno spostamento, capace di produrre la decoesione del coherer.

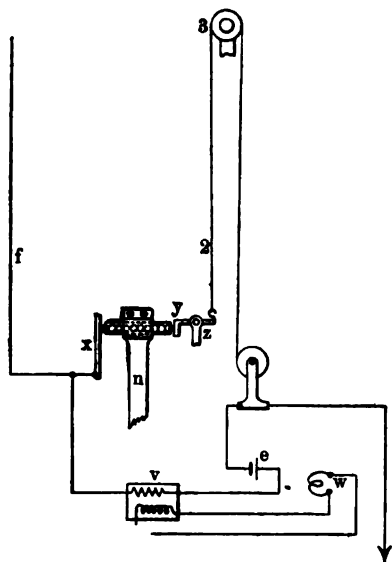



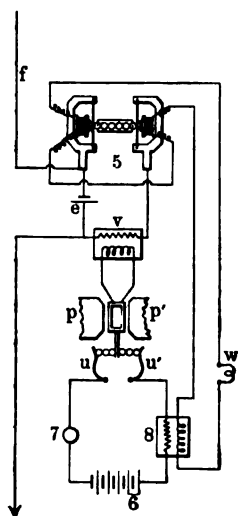
Fig. 173.

In un'altra maniera ancora la corrente stessa che nasce, quando il coherer diventa conduttore, è utilizzata per distruggere questa conduttività, e per ristabilire le condizioni primitive. Nell'apparecchio della fig. 173 si vede il coherer a sfere metalliche tenute fra due appoggi, l'uno dei quali è fisso, mentre l'altro fa da leva girevole attorno ad un pernio *z*. Un filo metallico 23

è attaccato alla leva in guisa che, quando è teso, questa esercita una pressione sulle sfere, mentre rilasciando il filo si fa diminuire la pressione stessa. (Nella figura, la quale è quella annessa alla descrizione del brevetto, il filo appare attaccato alla leva in maniera da agire in senso contrario alla pressione che la leva da sola potrebbe esercitare; ma si tratta evidentemente di un errore).

Il filo metallico è inserito nel circuito della pila e del coherer; e quando, quest'ultimo essendo diventato conduttore, la pila manda la sua corrente attraverso il circuito, il filo riscaldandosi si allunga, e facendo diminuire la pressione sulle sfere ristabilisce le condizioni primitive. Così almeno ritengono gli inventori; ma non è probabile che una disposizione simile possa funzionare bene, se non altro perchè un filo abbastanza lungo per consentire gli allungamenti richiesti, non subirà, anche se assai sottile, per parte delle correnti che possono traversare un coherer, il riscaldamento necessario, il quale, per di più, sarà reso troppo irregolare dalle correnti d'aria.

Fig. 174.

Infine nella fig. 174 gli inventori presentano una combinazione delle disposizioni delle figure 170 e 172, ideata allo scopo di amplificare l'azione di onde troppo deboli per produrre direttamente degli effetti sensibili in un ricevitore. Le onde, giunte attraverso l'antenna *f*, agiscono sul coherer 5, e le correnti variabili, le quali in tal modo vengono suscitate nel circuito della pila *e*, si adoperano per produrre nel trasformatore *v* delle correnti indotte, le quali dal canto loro, imprimendo delle rotazioni al telaio del soccorrittore *pp'*, provocano delle variazioni più forti nella resistenza di un secondo coherer *uu'*, e nell'intensità della corrente

che attraversa il suo circuito. Quest'ultima corrente, oltre ad attivare per induzione l'apparecchio ricevitore *w*, è anche utilizzata per la decoesione del primo coherer, il quale, in questo caso, per avere una tensione critica bassa, può essere fatto con sfere di carbone anzichè di metallo. È probabile, che la grande sensibilità a cui mirano gli inventori con questo apparecchio sia effettivamente raggiunta: ma ciò non esclude che lo stesso risultato si sarebbe potuto ottenere anche con una disposizione più semplice, p. e. affidando al telaio mobile del soccorritore *pp'* il cómpito di chiudere od interrompere il circuito di una pila più forte, invece di quello di agire sul secondo coherer. Ad ogni modo però gli apparecchi descritti, e specialmente quelli della fig. 170 e 172, per quanto difficilmente possano condurre alla *sincronizzazione* completa fra trasmettitore e ricevitore, che si sono prefissa gli inventori, costituiscono dei ricevitori molto sensibili e di poca inerzia nelle loro parti mobili, e perciò bene adatti a registrare una rapida successione di segnali.

Come fu esposto nel Cap. III della Parte Seconda, oltre i radioconduttori, che richiedono l'intervento di uno scuotimento per essere restituiti alla resistenza primitiva, ne esistono altri, i quali riprendono spontaneamente lo stato iniziale, ed altri ancora nei quali le onde producono un aumento anzichè una diminuzione di resistenza. Siccome essi pure cominciano ad entrare nella pratica della telegrafia, così è qui necessario dire anche di essi qualche parola.

Il ritorno spontaneo alla resistenza iniziale dopo l'azione delle onde è praticamente di grande importanza, perchè rende superfluo il martellino ed ogni analogo congegno. Tale proprietà è posseduta, come si disse, dai radioconduttori a granelli di carbone studiati da Tommasina e da Ferrié. Il Tommasina anzi ne ha fatto una applicazione pratica. La polvere di carbone adoperata è quella dei microfoni svizzeri; essa si trova tra due lamine di mica in un foro di due millimetri di diametro praticato in

una lastra d'ebanite grossa 2^{mm}, 5. Due fili di argentana penetrano nella polvere di carbone e costituiscono i poli del radioconduttore. La sensibilità di quest' ultimo, secondo Tommasina, non sarebbe inferiore a quella dei soliti coherer a limatura metallica, mentre la conduttività stabilitasi sotto l'azione delle onde sparirebbe istantaneamente assieme alla causa, che l'aveva prodotta.

Le limature matalliche, in generale, non si prestano bene per la costruzione dei coherer a decoesione spontanea. Tuttavia, il sig. Popoff [25] ha realizzato un coherer di questo genere con particelle metalliche. Gli elettrodi del coherer (fig. 175) sono due lamine di platino, disposte in vicinanza l'una dall'altra in un tubo di vetro, il quale si riempie poi con polvere di carbone duro oppure con particelle metalliche, preferibilmente di acciaio,

Fig. 175.

ottenute pestando delle sfere d'acciaio indurite. Queste particelle, essendo coperte di un sottile strato d'ossido sui lati che formavano la superficie delle sfere, mentre vi sono altri lati e spigoli acuti esenti d' ossido, offrono, secondo il sig. Popoff, una perfetta sensibilità e regolarità dell'azione, specialmente se, per assicurare una distribuzione uniforme delle particelle, il tubo è diviso in più sezioni per mezzo di diaframmi non conduttori.

Un grande vantaggio dei coherer a decoesione spontanea, oltre a quello già riferito, è quello di permettere l'uso del telefono inserito direttamente nel circuito come apparato ricevitore. Con questa disposizione, tanto i sigg. Ducretet e Popoff quanto il sig. Blondel fecero delle prove, che si dice abbiano dato dei buoni risultati sino a distanze di 50 chm. Malgrado ciò non sembra che i coherer a decoesione spontanea abbiano funzionato

in maniera abbastanza sicura da renderne consigliabile un uso più generale.

Recentemente si è saputo, che nella Marina Italiana furono eseguite delle esperienze con un coherer a goccia di mercurio, l'idea del quale, mentre da molti è attribuita al semaforista Castelli, è stata dal tenente Solari, rivendicata a se stesso. Nella forma adottata dal Castelli, questo coherer comprende due elettrodi di carbone introdotti in un tubo di vetro, fra i quali si trovano due goccioline di mercurio separate da un cilindretto di ferro. La resistenza, che questa disposizione oppone al passaggio di una corrente, diminuisce in forte proporzione sotto l'influenza di onde elettriche, ma riprende spontaneamente il valore primitivo, non appena è cessata l'azione delle onde. Perchè l'apparecchio funzioni bene, la forza elettromotrice della pila, nel circuito della quale esso è inserito, deve essere compresa tra 1 e 1,5 volta; il mercurio deve essere puro e l'interno del tubo deve essere scevro di umidità. Di più, il diametro delle goccioline di mercurio, le quali non occupano tutta la sezione del tubo, deve essere proporzionato al diametro di quest'ultimo. Con un tubo del diametro interno di 3 mm., i diametri delle goccie di mercurio più adatti sono compresi tra mm. 1,5 e 3; se le goccie sono più piccole, il tubo è poco sensibile, se sono più grandi, la decoesione non riesce più abbastanza netta.

Una forma più semplice del coherer a mercurio ha una sola goccia di questo metallo, compresa fra due elettrodi di ferro; il coherer del Solari, il quale in un certo modo rappresenta la metà di quello del Castelli, ha una goccia di mercurio tra un elettrodo di ferro ed uno di carbone.

Anche il Marconi ha fatto delle prove con un coherer a mercurio presentatogli dal Solari sotto il nome di « coherer della Marina Italiana ». Secondo lui, però, questo apparecchio non funzionerebbe in modo abbastanza sicuro per un lavoro continuo e regolare. Certe volte, sotto l'azione di onde intense o di pertur-

bazioni atmosferiche, mancherebbe la decoesione spontanea e la resistenza dell'apparecchio resterebbe diminuita in modo permanente; altre volte l'apparecchio improvvisamente avrebbe smesso di funzionare.

Per la telegrafia sintonica l'apparecchio sarebbe poco adatto, per il fatto che la resistenza è poco elevata anche nello stato non perturbato dalle onde. Del resto, anche nella Marina Italiana, il coherer a mercurio non sembra sia mai venuto in uso regolare.

Esso sembra utile quando si tratta di prove transitorie, intese non tanto ad assicurare la trasmissione esatta di ogni segno, quanto a stabilire la possibilità o meno di una comunicazione in determinate condizioni.

Diremo infine che gli *anti-coherer* o radioconduttori ad aumento di resistenza sembrano pure essere entrati nella pratica; si riferisce che uno di tal genere, detto lastra di Schäfer, analogo a quello di Neugschwender, sia stato adottato nella marina austro-ungarica. Ma a chi scrive mancano su ciò dati sicuri.

Tutti gli indicatori di onde, che sinora abbiamo descritti in questo capitolo, sono basati più o meno direttamente sulle variazioni che subisce la resistenza elettrica di contatti imperfetti esposti all'azione delle onde. Ultimamente però il Marconi ha costruito un rivelatore d'onde, il quale è basato sopra un fenomeno affatto diverso, e cioè sull'influenza che le onde elettriche esercitano sulle condizioni magnetiche del ferro. L'idea di utilizzare un fenomeno di questo genere per rivelare la presenza di onde elettriche non è nuova, e nel § 33 fu descritto l'analogo rivelatore d'onde del Sig. Rutherford.

Quest'ultimo rivelatore ha però l'inconveniente, che le variazioni prodotte nel magnetismo dell'ago sono di carattere permanente, per cui l'ago ha bisogno di essere rimagnetizzato dopo ogni esperienza; ma il nuovo rivelatore di Marconi è alquanto differente.

Sopra un nucleo di sottili fili di ferro o di acciaio sono avvolti, l'uno attorno all'altro, due circuiti di filo di rame isolato. Le estremità del circuito interno sono in comunicazione, l'una colla terra, l'altra coll'antenna ricevitrice, oppure con uno degli avvolgimenti del trasformatore, il quale, come vedremo in altro luogo, può essere inserito tra l'antenna e la terra; l'altro circuito, di filo più lungo, comunica con un telefono o con un altro analogo apparecchio ricevitore. Vicino alle estremità del nucleo è disposta una calamita permanente in forma di ferro di cavallo, la quale, mediante un meccanismo d'orologeria, è mantenuta in rotazione, in modo da invertire od almeno da modificare regolarmente ad intervalli non troppo brevi lo stato magnetico del nucleo di ferro. Quando delle onde elettriche raggiungono l'antenna e percorrono il circuito ad essa connesso, delle rapide variazioni sono provocate nella magnetizzazione dal nucleo, e queste variazioni producono naturalmente delle correnti indotte nel secondo circuito avvolto attorno al nucleo di ferro. Queste si rendono manifeste colla produzione di un suono nel telefono connesso al rocchetto. Togliendo la calamita permanente non si hanno dei suoni, neppure quando la sorgente delle onde si trova a piccola distanza dall'apparecchio; e lo stesso avviene anche quando soltanto si arresta il movimento della calamita. Anzi, secondo il Sig. Marconi, i suoni nel telefono sono più deboli immediatamente dopo che i poli della calamita sono passati davanti alle estremità del nucleo, mentre essi crescono d'intensità durante i periodi di avvicinamento.

Oltre che colla disposizione descritta, dei risultati buoni furono pure ottenuti quando, invece di adoperare la calamita girante, si faceva passare in modo continuo, mediante un movimento d'orologeria, una corda od un fascio di fili di ferro senza fine attraverso il rocchetto e tra due calamite permanenti affacciate coi loro poli omonimi. Con questo apparecchio, delle prove coronate di successo furono fatte tra St. Catherines Point

sull'isola di Wight e North Haven Poole, ad una distanza di circa 50 chilometri, come pure tra Poldhu in Cornovaglia e Poole, in Dorset, località questa distante dalla prima 152 miglia (circa 240 chilometri), di cui 109 sul mare e 43 sulla terra. Si potrebbero pure ottenere dei segnali facendo agire il nucleo di ferro direttamente sulla membrana di un telefono, anzichè sopra un'elica di filo comunicante col rocchetto del telefono.

Secondo il sig. Marconi, il funzionamento del suo apparecchio si spiegherebbe nel modo seguente. È noto che, quando una variazione avviene nella forza magnetica, la quale agisce sopra una massa di ferro, la variazione corrispondente nello stato magnetico del ferro non si produce in modo completo che dopo un piccolo intervallo di tempo. A variazioni cicliche della forza magnetica le variazioni corrispondenti del magnetismo indotto seguono soltanto con un certo ritardo, in causa della così detta isteresi magnetica. D'altra parte, i Sig. Gerosa, Finzi ed altri hanno mostrato, che le correnti alternate di alta frequenza oppure le onde elettriche fanno diminuire notevolmente gli effetti dell'isteresi; una massa di ferro soggetta ad onde o a correnti alternate ubbidisce più rapidamente ad una forza, che tenda a modificare il suo magnetismo.

Il fenomeno sarebbe probabilmente dovuto al fatto, che le molecole del ferro, per opera delle onde elettriche, verrebbero liberate in modo transitorio dalla condizione in un certo qual modo forzata, nella quale esse si trovano ordinariamente, e sarebbero così in grado di meglio obbedire all'influenza di una forza magnetica. Per cui, se delle onde elettriche emanate da un oscillatore colpiscono improvvisamente l'apparecchio più sopra descritto, una determinata variazione nel magnetismo del ferro, la quale in condizioni ordinarie non seguirebbe che con un certo ritardo la corrispondente variazione della forza magnetica esercitata dalla calamita girante, dovrà invece prodursi immediatamente. Ciascuna emissione di onde per parte della stazione

trasmettente provoca dunque una variazione repentina nel magnetismo del nucleo di ferro dell'apparecchio ricevitore, e fa nascere nel filo, che circonda questo nucleo, una corrente indotta. Siccome questi effetti si ripetono colla frequenza dell'interruttore, il quale mette in azione l'apparecchio d'induzione della stazione trasmettente, il telefono della stazione ricevitrice dovrà dare, sinchè continua l'arrivo delle onde dall'altra stazione, un suono, la cui altezza corrisponderà alla frequenza dell'interruttore.

Il nuovo indicatore, a detta del Sig. Marconi, è più sensibile e funziona in modo più sicuro del coherer. Esso non ha bisogno, come il coherer, di essere aggiustato con speciale cura; il fatto che la sua resistenza è costante e più bassa di quella del coherer, si mostra vantaggioso per la telegrafia sintonica, di cui si parlerà in un altro capitolo. Invece, il nuovo indicatore non dà segnali udibili a distanza come quelli del campanello attivato dal coherer; per cui conviene, onde poter richiamare l'attenzione del telegrafista, unire al nuovo indicatore anche il solito coherer col suo campanello. Di più il telefono, il quale attualmente col nuovo indicatore fa da apparecchio ricevitore, se in certi casi presenta dei vantaggi, d'altra parte ha l'inconveniente di non lasciare una traccia permanente dei segnali arrivati, e di non consentire una grande rapidità nella successione dei segnali. Per ora, col nuovo indicatore si possono trasmettere circa 30 parole al minuto; ma il Sig. Marconi spera che si possa giungere a fare attivare dal nuovo indicatore un apparecchio scrivente, e ad accrescere la rapidità di successione dei segnali.

54. **Gli apparecchi della stazione ricevente.** — Gli organi essenziali di una stazione ricevente sono in generale disposti nel modo seguente, come già si è altrove accennato. Dalle estremità del coherer partono due fili: uno di essi comunica coll'antenna attraverso al tasto del trasmettitore, il quale rompe questa

comunicazione quando la stazione, invece di ricevere, trasmette dei segnali; l'altro comunica colla terra. Nello stesso tempo il coherer è inserito nel circuito di una pila e di un soccorritore telegrafico, il quale, quando attira la propria àncora, mette in azione l'apparato scrivente.

Le comunicazioni sono naturalmente diverse, quando sono introdotti nella limatura del radioconduttore tre elettrodi invece di due, come nella disposizione del Sig. Ducretet [26]. In tal caso le comunicazioni sono disposte come si vede nella fig. 176, vale a dire coi due elettrodi estremi congiunti fra di loro e con uno

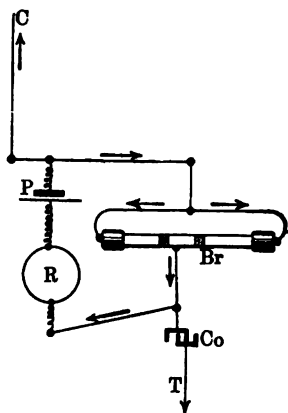
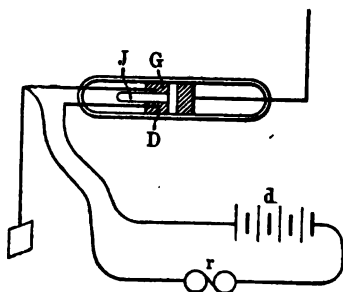



Fig. 176. Fig. 177.

dei poli della pila, mentre l'altro polo di questa comunica coll'elettrodo di mezzo, cosicchè in realtà si hanno due coherer in derivazione.

Un coherer a tre elettrodi è anche quello del sig. Berner [27]. In questo apparecchio (fig. 177), come nella forma solita del coherer, non vi è che un solo strato di limatura fra due elettrodi; senonchè uno di questi ultimi è diviso, mediante una lastra isolante J, in due metà, che possono comunicare fra di loro soltanto attraverso la limatura. È a queste due metà che fanno capo le estremità del circuito del soccorritore colla sua pila:

nello stesso tempo, uno di questi elettrodi è messo in comunicazione colla terra, mentre l'elettrodo che gli sta di fronte comunica coll'antenna. Il circuito del soccorritore si chiude, quando la limatura per opera delle onde è diventata conduttrice. Lo scopo della disposizione descritta è quello di evitare che le onde, le quali dall'antenna debbono passare alla terra, possano attraversare, anzichè il coherer, il circuito del soccorritore, il quale, nella disposizione comune, è messo in derivazione sui capi del coherer stesso.

La comunicazione colla terra è altrettanto importante, nelle disposizioni che sinora abbiamo conosciute, per l'apparecchio ricevitore quanto per quello trasmettitore. Sembra addirittura, nell'uno come nell'altro caso, che una comunicazione difettosa debba in un certo modo essere compensata da una maggiore altezza delle antenne. Anzi, essendo una buona comunicazione più difficile a realizzarsi sui continenti che sul mare, la trasmissione di segnali sopra una data distanza richiederà nel primo caso una maggiore altezza delle antenne. Secondo Guarini, la comunicazione colla terra, mentre è vantaggiosa per il trasmettitore, sarebbe invece nociva nel ricevitore, perchè nel trasmettitore essa farebbe aumentare il potenziale della sfera comunicante col conduttore aereo, producendo così un massimo d'intensità della vibrazione elettrica all'estremità di quel conduttore, mentre isolando il ricevitore, si avrebbe un massimo proprio nel coherer, l'effetto della terra essendo quello di una grande capacità.

Riguardo all'antenna ricevitrice, si possono richiamare le stesse norme, che furono date per l'antenna dell'apparecchio trasmettitore; ed è superfluo il ripeterle inquantochè, ciascuna stazione dovendo essere fornita degli apparecchi per il ricevimento come per la spedizione dei telegrammi, una medesima antenna serve per l'uno e per l'altro di questi apparecchi. Nelle prime istallazioni della « Wireless Telegraph and Signal Company »,

il filo, al quale faceva capo l'antenna, comunicava normalmente coll'apparecchio ricevitore, e quando si volevano mandare dei dispacci, lo si distaccava a mano dal ricevitore per attaccarlo al trasmettitore. Questa operazione essendo incomoda e non essendo neppure scevra di pericoli nel caso di disturbi atmosferici, si adottò più tardi [28] una disposizione, alla quale precedentemente abbiamo già accennato, e della quale ora diamo una rappresentazione schematica (fig. 178). Si vede, che l'antenna *u* è in comunicazione stabile tanto con una delle sfere dell'eccitatore quanto coll'estremità b^2 di uno dei bracci del tasto telegrafico; questo braccio, più lungo che negli apparecchi usuali, è separato dal resto del tasto mediante un pezzo isolante. Nella posizione di riposo l'estremità b^2 è appoggiata sul contatto b^3, dal quale un filo (circondato da un tubo metallico M) conduce al coherer rinchiuso nella cassa R; quando invece si preme sul tasto per fare agire il rocchetto d'induzione e produrre delle onde, resta interrotta la comunicazione col coherer, il quale rimane così protetto contro le onde generate nella propria stazione.

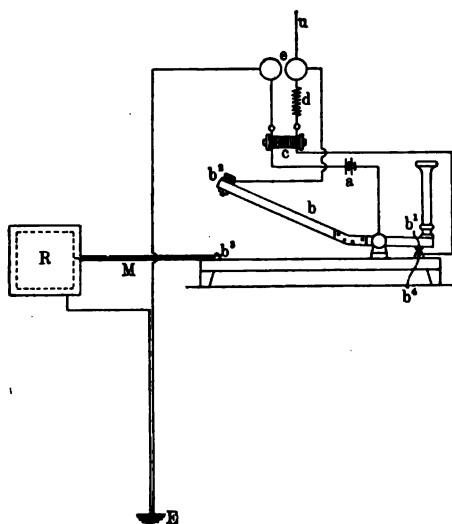



Fig. 178.

La comunicazione permanente tra l'antenna ed una delle sfere dell'oscillatore rimase in uso, e soltanto recentemente sembra sia stata abbandonata nelle stazioni della « Wireless Telegraph and Signal Company »; invece per il ricevitore, già

prima della disposizione ora descritta, la detta Società ne brevettò un'altra [29], la quale esclude ogni comunicazione diretta tra l'antenna ed il circuito del coherer. Questa disposizione è rappresentata nella fig. 179. Si vede, che l'antenna *a* comunica colla terra *b* attraverso il circuito primario *c* di un rocchettino d'induzione o trasformatore; e si comprende che le onde, le quali, giunte sull'antenna passano per *c*, debbano generare nel circuito secondario *d* del trasformatore delle onde o correnti indotte, le quali provocano nel coherer *j* il solito effetto. Le differenze di potenziali alternanti prodotte da queste onde si neutralizzano nel condensatore *e*, mentre l'ingresso delle onde

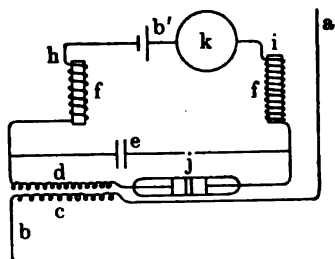



Fig. 179.

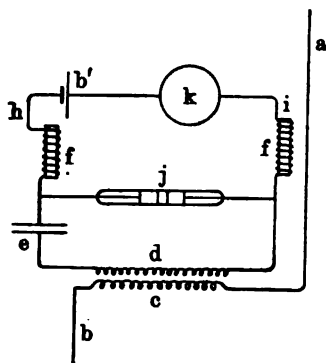



Fig. 180.

nel soccorritore telegrafico *k* è impedito dai rocchetti « strozzatori » *f*, i quali invece non oppongono notevole ostacolo alla corrente della pila *b'*, che si chiude attraverso il soccorritore, appunto quando *j* è diventato conduttore per opera delle onde. Le altre parti dell'apparecchio non differiscono da quelle solite. Una disposizione un poco diversa, la quale funziona nello stesso modo, ma forse non dà effetti altrettanto buoni, si vede nella fig. 180.

Con questa separazione tra l'antenna ed il coherer si raggiunge, secondo Marconi, un duplice risultato. Si eliminano gli

eventuali pericoli delle perturbazioni atmosferiche, poichè l'antenna, essendo permanentemente in buona comunicazione colla terra, deve esercitare la funzione preventiva di un parafulmine; e si raggiunge una maggiore sensibilità, visto che l'azione sul coherer, la quale dipende non tanto dall'intensità quanto dal potenziale delle correnti ondulatorie alle quali è soggetto, può appunto essere rinforzata, se mediante un trasformatore si fa crescere il potenziale a scapito dell'intensità di quelle correnti.

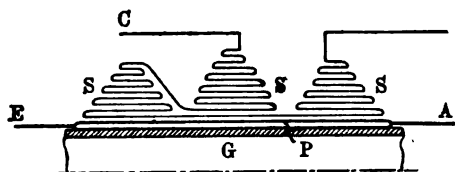
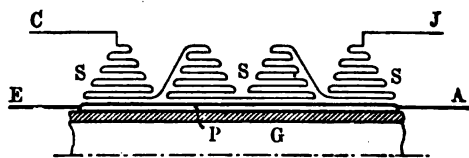
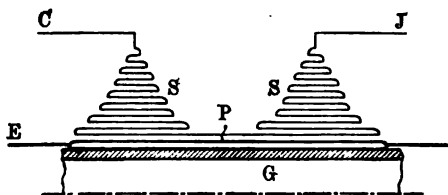



Fig. 181.
Fig. 182.
Fig. 183.

È evidente, che in tal modo uno stesso effetto sul coherer può prodursi con oscillazioni più deboli. Occorre però, per raggiungere questo risultato, che il trasformatore, al quale il Signor Marconi dà il nome di « jigger », sia costruito in modo speciale. I rocchetti di forma usuale, col primario di pochi giri di filo grosso e col secondario costituito da un filo lungo e sottile, hanno, secondo Marconi, un effetto nocivo anzichè vantaggioso.

I trasformatori di Marconi sono piccolissimi ed hanno i due avvolgimenti fatti con filo dello stesso diametro, sebbene nelle fig. 181-188, le quali ne rappresentano in sezione i tipi principali provati con successo, l'avvolgimento primario P, per distinguerlo meglio da quello secondario S, sia indicato con linee più grosse. Inoltre, le figure non danno che la metà di

ciascuna sezione; e gli avvolgimenti, invece di essere rappresentati propriamente con una sezione attraverso gli strati del filo, ossia con una o più serie di punti per ciascun avvolgimento, sono indicati con linee a zig-zag, parallele all'asse del trasformatore e rappresentanti, col loro numero e colla lunghezza di ciascuna di esse, il numero degli strati e l'estensione di ciascuno. Le lettere hanno lo stesso significato in tutte le figure:

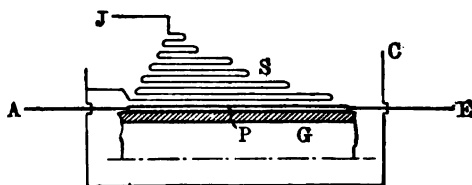



Fig. 184.

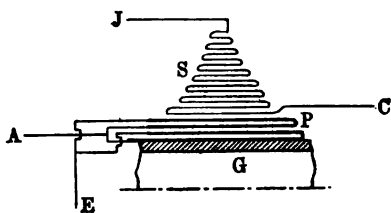



Fig. 185.

G è la sezione attraverso il tubo di vetro, sul quale è avvolto il trasformatore, A è quella estremità del circuito primario che

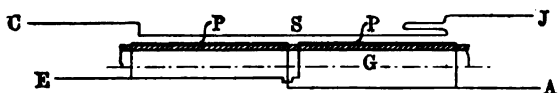



Fig. 186.

comunica coll'antenna, l'altra estremità E essendo messa a terra, e dei due capi del circuito secondario, quello J conduce al coherer, quello C al condensatore. In quasi tutte le disposizioni

Fig. 187.

provate, il numero dei giri nei diversi strati dell'avvolgimento secondario diminuisce col crescere della distanza dal primario, il quale consta soltanto di uno o di pochi strati di filo; il circuito

secondario, qualche volta, è diviso in più sezioni messe in serie nel modo particolare indicato nelle figure. Tutti questi rocchetti, come già si disse, sono di piccolissime dimensioni; la loro lunghezza varia tra 2 e 6 centimetri appena, il diametro del tubo sul quale è avvolto il filo è un poco inferiore ad 1 cm., ed il filo stesso, coperto di seta, è grosso 1 mm. oppure $1^{mm},2$ tanto nel-

Fig. 188.

l'avvolgimento primario quanto in quello secondario; il numero degli strati arriva sino a 4 nel circuito primario e sino a 16 nelle diverse sezioni del secondario, nel quale allora il numero dei giri per ciascuna sezione può diminuire da 150 sino a 2. Il Marconi, a quanto pare, dà una grande importanza a queste disposizioni particolari, le quali secondo lui avrebbero l'effetto di impedire, che l'induzione elettromagnetica operi in senso contrario a quella elettrostatica ai capi del rocchetto. A dimostrare il loro valore pratico egli cita il fatto, che durante le manovre navali del 1899 i due incrociatori inglesi « Juno » ed « Europa » poterono, quando gli apparecchi ricevitori erano forniti di rocchetti del tipo rappresentato nella fig. 182, scambiare dei telegrammi sino ad una distanza di più di 60 miglia (quasi 100 chm.), mentre senza i rocchetti i dispacci cessavano di essere intelligibili a distanze appena superiori a 7 miglia (11 chm.).

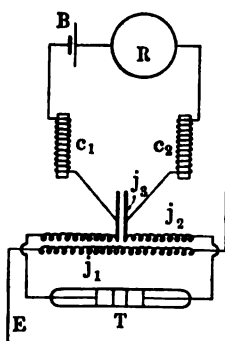



Fig. 189.

Tuttavia, in un brevetto successivo [30], la « Wireless Telegraph and Signal Company » ha modificato ancora le disposizioni descritte. L'azione sul coherer si ottiene sempre per induzione,

ed il circuito primario del trasformatore destinato a questo scopo ha conservato la forma di prima: il secondario invece (fig. 189) è diviso a metà, e mentre i suoi capi esterni comunicano coi poli del coherer, a quelli interni sono attaccate le due lastre di un condensatore j_3, dalle quali poi dei fili conducono nel modo solito, attraverso le autoinduzioni c_1 c_2, al circuito della pila e del soccorritore. Le figure 190 e 191 rappresentano, alla stessa guisa delle analoghe figure precedenti, le semi-sezioni dei rocchetti adoperati con questa disposizione. Quello della fig. 190 ha il circuito primario, il quale consiste di 100 giri di filo di rame coperto di seta, grosso mm. 0,37, avvolto sopra un tubo di vetro di 6 mm. di diametro, mentre il circuito secondario è fatto con filo grosso mm. 0,19. I suoi due avvolgimenti cominciano nel mezzo e sono condotti nello stesso senso del primario, e ciascuno di essi comprende 500 giri distribuiti, in numero decrescente da 77 a 3, sopra 17 strati. Il trasformatore della fig. 191 ha il filo avvolto sopra un tubo di 25 mm. di diametro, il circuito primario consiste di 50 giri di filo di mm. 0,7, e ciascuna metà del secondario comprende 160 giri di filo di mm. 0,05 dispoti in uno strato. Non è detto quali vantaggi speciali si ottengano con questa nuova disposizione dei circuiti; veniamo a sapere soltanto, che i migliori risultati si ottengono quando, essendo le antenne in ciascuna stazione alte 150 piedi (circa 46 metri), ed il secondario del trasformatore disposto in un solo strato di giri, la lunghezza complessiva del filo secondario è uguale all'incirca all'altezza

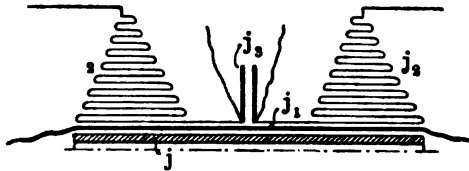
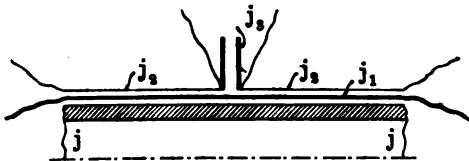



Fig. 190.

Fig. 191.

dell'antenna della stazione trasmettente. Anche questo risultato, come i dettagli di costruzione dei trasformatori, più che da previsioni scientifiche, è sorto empiricamente dagli insegnamenti di numerose esperienze e prove pratiche.

La sicurezza delle comunicazioni, se non la loro portata, dipende in gran parte, oltre che dalle qualità del radioconduttore, da quelle del *soccorritore*, il quale ha il còmpito di chiudere il circuito dell'apparecchio scrivente. Mentre quest'ultimo richiede l'uso di correnti piuttosto intense, il coherer, per conservare le sue qualità, non deve essere percorso che da correnti estremamente deboli; e perciò è necessario, che nel circuito del coherer non vi sia che una pila di poca forza elettromotrice, e che il relais abbia una grande sensibilità. Parlando delle varie disposizioni date al coherer abbiamo descritto anche alcuni congegni particolari, destinati all'ufficio di chiudere il così detto circuito locale; nella maggior parte dei sistemi però si dà la preferenza ai soccorritori telegrafici, e particolarmente a quelli così detti polarizzati, oppure a quelli a circuito mobile.

Nei primi una paletta di ferro è mobile tra i poli di una elettrocalamita, e la sua corsa è limitata mediante viti di arresto. Una calamita permanente agisce tanto sul nucleo dell'elettrocalamita quanto sulla paletta, in modo che i poli della prima divengano poli omonimi, mentre l'estremità della paletta che si trova tra essi, rimane magnetizzata in senso opposto. Mentre è così attratta ugualmente dai due poli, essa è premuta da una debole molla contro una delle viti di arresto. Quando invece i rocchetti dell'elettrocalamita sono percorsi da una corrente, il magnetismo di uno dei poli viene riforzato, quello dell'altro viene indebolito oppure s'inverte, e le comunicazioni sono disposte in maniera, che la paletta dalla sua posizione di riposo è attratta verso l'altro contatto, e chiude il circuito locale.

Nei sòccorritori a circuito mobile, p. e. in quello di Claude, un telaio, sul quale è avvolto un filo conduttore che comunica col coherer e colla sua pila, è sospeso tra i poli di una calamita permanente, e quando è percorso da una corrente, subisce una rotazione, la quale si utilizza per stabilire dei contatti, mediante i quali si chiude il circuito locale. Nelle esperienze di Tissot uno di questi sòccorritori potè funzionare con una corrente di 0,25 milliampère, fornita da una pila di forza elettromotrice inferiore ad 1,4 volta; altri sperimentatori hanno adoperato nel circuito del coherer delle pile con una forza elettromotrice, che non raggiungeva neppure 0,3 volta.

Una forma particolare di soccorritore si trova descritta in un brevetto americano del Sig. Kitsee [31]. Si tratta di un soccorritore polarizzato; il magnetismo indotto da una calamita permanente nei nuclei dell'elettrocalamita e nella paletta mobile tiene quest'ultima continuamente attratta verso uno dei poli dell'elettrocalamita. Diversamente però dalla disposizione solita, l'elettrocalamita è fornita di due coppie di rocchetti, tra le quali si distribuisce la corrente di una pila, percorrendole in direzioni inverse, in modo da produrre nell'elettrocalamita due magnetizzazioni opposte, le quali, quando le resistenze e con esse anche le intensità nei due circuiti sono uguali, si distruggono reciprocamente.

Nell' uno dei circuiti derivati, oltre ad una delle coppie dei rocchetti, è inserito anche l'apparecchio sensibile alle onde; l'altro circuito contiene, oltre la seconda coppia di rocchetti, una resistenza variabile destinata a rendere uguali le resistenze nei due circuiti. Sinchè dura questa uguaglianza, la paletta rimane nella sua posizione di riposo; ma non appena la resistenza del coherer è diminuita per opera di onde ricevute dall'antenna dell'apparecchio, l'intensità di corrente nel relativo circuito cresce a scapito di quella nell'altro circuito, e la paletta, se le comunicazioni sono disposte opportunamente, è

attratta verso l'opposto polo dell'elettrocalamita. Con questo movimento si chiude il circuito di una seconda pila, la quale, oltre ad attivare il ricevitore telegrafico, esclude la resistenza variabile dal suo circuito.

Ma allora dovrà prevalere la corrente in questo circuito; ed a ciò contribuirà anche il fatto, che nello stesso tempo la resistenza del coherer, sia automaticamente, sia per opera di un congegno apposito, ha ripreso il suo valore elevato. Si inverte così la magnetizzazione dell'elettrocalamita; la palétta è nuovamente attratta verso la posizione di riposo, s'interrompe il circuito della seconda pila e si toglie la causa, la quale aveva eliminata la resistenza ausiliaria. Rimessa questa resistenza nel proprio circuito, si sono ristabilite le condizioni iniziali, e l'apparecchio è pronto a rispondere a nuove onde.

I *ricevitori telegrafici*, che si adoperano nella telegrafia senza filo, non differiscono per lo più da quelli in uso da lungo tempo nella telegrafia per mezzo di fili conduttori. Predomina anche qui il modello Morse, sia nella forma di apparecchio scrivente, sia nella forma più semplice di « sounder », il quale, invece di tradurre in lineette e punti gli impulsi di maggiore o minore durata trasmessigli dall'altra stazione, vi risponde con suoni o rumori più o meno prolungati. In tal caso si ha un effetto simile a quello dato dai coherer a decoesione spontanea, riuniti al telefono, ovvero a quello di qualche altro apparecchio analogo.

Secondo un inventore americano, il Sig. Kitsee [31], sarebbe possibile persino di registrare direttamente le diverse emissioni di onde, che raggiungono la stazione ricevitrice, senza apparecchio Morse e soccorritore, anzi senza lo stesso coherer. Dall'antenna ricevitrice un filo conduce ad una punta metallica, la quale appoggia sopra una striscia di carta, che passa sopra un cilindro metallico in comunicazione colla terra. La carta è preparata chimicamente, e le correnti alternate di diversa durata, destate nel sistema di questi conduttori per opera delle successioni più

o meno lunghe di onde mandate dall' altra stazione, dovrebbero, secondo l' inventore, scomporre nel punto di contatto tra la punta e la carta la sostanza chimica opportunamente scelta, di cui la carta è imbevuta, segnando in tale guisa, mediante la formazione di una sostanza chimica colorata, gli stessi punti e le stesse lineette, che si ottengono in altra maniera col ricevitore Morse. Si tratta, insomma, del noto telegrafo elettrochimico, colla differenza soltanto che l'azione chimica, per la quale in quest' ultimo si può disporre di correnti intense, dovrebbe ottenersi con correnti elettriche d' intensità minima.

Come abbiamo visto parlando delle esperienze istituite dalla « Wireless Telegraph and Signal Company », e come vedremo ancora in seguito, il limite della distanza, alla quale si possono mandare dei segnali mediante le onde elettriche, si è nelle successive esperienze continuamente aumentato. Questo risultato, dovuto alla maggiore sensibilità dei ricevitori, ma più ancora all' uso di generatori di onde più potenti, non si è potuto ottenere senza un consumo enorme di energia fuori d' ogni proporzione colle minime quantità di energia effettivamente utilizzate nel ricevitore. Era naturale dunque, che si cercasse di allargare il limite delle trasmissioni piuttosto in un altro modo, e cioè coll' uso di *ripetitori automatici*, i quali, a somiglianza di quelli che si adoperano anche in vari sistemi della telegrafia con filo, rispondessero ad ogni segnale ricevuto da una stazione trasmettente coll'emissione di un altro segnale, capace di agire dal canto suo sopra altri apparecchi, situati a troppo grande distanza dalla prima stazione per essere direttamente da questa influenzati. Il problema, a prima vista, si presenta assai semplice. Nella stazione intermedia le onde agiscono sopra un coherer, e la conduttività acquistata da questo è utilizzata per attivare un soccorritore, il quale, invece di mettere in opera un ricevitore telegrafico, chiude il circuito primario di un rocchetto d' induzione, dal quale allora emanano delle onde, corrispondenti perfetta-

mente a quelle della stazione trasmettente, e capaci di agire, sia nella stazione ricevitrice definitiva, sia in un'altra stazione ripetitrice. Ma è evidente, che una determinata stazione intermedia, oltre a mandare le sue onde alla stazione successiva, le manderà anche a quella precedente, ove esse potranno turbare il funzionamento degli apparecchi.

Per evitare questo inconveniente, i Sig. Cole e Cohen [32] propongono diversi mezzi. Uno di questi consiste nel disporre l'àncora del soccorritore di ciascuna stazione in maniera tale, che quando l'onda emessa torna a questa stazione, essa trovi l'apparecchio ricevitore in condizioni da non poter registrare quest'onda. Si potrebbero pure collocare nelle diverse stazioni dei commutatori a movimento perfettamente sincromo, e regolati in maniera tale, che dopo l'emissione di un segnale il circuito della stazione trasmettente rimanesse interrotto per quel tempo, durante il quale potrebbe arrivare l'onda di ritorno dalla stazione successiva, e tornasse a chiudersi soltanto per dar luogo ad una nuova emissione di onde.

Un'altro mezzo sarebbe infine, secondo gli inventori, quello di provvedere ciascuna stazione intermedia di due antenne, indipendenti l'una dall'altra e connesse, l'una all'apparecchio ricevitore, l'altra a quello che deve trasmettere i segnali alla stazione successiva. Ciascuna antenna verrebbe circondata per tutta la sua lunghezza con una doccia o superficie semi-cilindrica di metallo e coperta in alto con un piano metallico: l'apertura della doccia sarebbe rivolta, per ciascuna antenna, verso quel lato dal quale essa deve ricevere oppure al quale essa deve mandare le onde. Fra i tre metodi descritti, gli inventori vogliono adottare quest'ultimo, il quale, a loro dire, proteggerebbe ciascuna antenna contro l'azione delle onde che non vengono da una determinata direzione; ma dicemmo già in altro luogo essere assai inverosimile, che una disposizione del genere descritto possa avere l'effetto desiderato. Ed infatti non

sembra, che il sistema dei Sigg. Cole e Cohen abbia dato dei risultati pratici.

Un inventore italiano, il Sig. Guarini, ha preferito [33] il primo dei metodi innanzi esposti. La fig. 192 rappresenta gli organi principali di una stazione capace di funzionare, sia da semplice ricevitrice, sia da ricevitrice e ripetitrice, sia da ripetitrice soltanto; la si prepara per l'uno o l'altro di questi uffici a seconda della posizione che si dà ad una chiavetta nel commutatore 6 della figura.

Se l'apparecchio deve funzionare semplicemente come ricevitore, s'introduce la chiavetta nell'orifizio 19 del commuta-

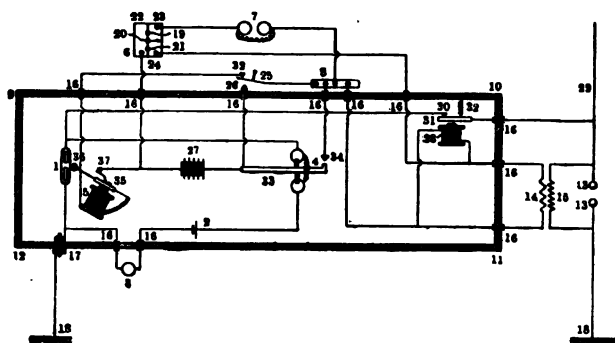



Fig. 192.

tore. Le onde, che giungono all'antenna 29, passano attraverso il contatto 31-30, al coherer 1, e da questo alla terra per mezzo dei fili 17-18. Diminuita la resistenza del coherer, si stabilisce la corrente della pila 2, nel circuito della quale, oltre al soccorritore 4, è inserito un galvanometro 3; quest'ultimo, perchè si possa vedere se l'apparecchio funziona anche quando fa semplicemente da ripetitore, è collocato fuori della cassa metallica 9-10-11-12, che racchiude una parte degli organi della stazione. Il soccorritore 4, attivato dalla corrente della pila 2, fa muovere la paletta 33 contro il contatto 34, ed allora la corrente della pila 27 (supposto che alla chiavetta del commutatore si sia data la posizione 19) è in grado di traversare i

rocchetti del ricevitore telegrafico 7, e se la leva 25 si trova nella posizione di riposo appoggiata contro il contatto 32, anche il martellino 5 è messo in azione dalla corrente della stessa pila.

Se invece la chiavetta del commutatore 6 è introdotta nell'orifizio 20, le onde giunte all'antenna producono ancora gli effetti descritti, ma oltre a ciò fanno funzionare l'apparecchio come ripetitore, perchè la corrente della pila 27, oltre i circuiti del ricevitore 7 e del martellino 5, traversa ancora l'avvolgimento primario 14 del rocchetto d'induzione 14-15, ed il rocchetto 28 di un altro interruttore. L'elettrocalamita di quest'ultimo, attirando la paletta 31 e rompendo il contatto fra essa e l'appoggio 30, dovrebbe, secondo l'inventore, impedire alle onde emesse dall'eccitatore 13 e dall'antenna 29, e destinate alla trasmissione dei segnali fino alla successiva stazione, di agire sul coherer 1. Infine, quando la chiave del commutatore chiude l'orifizio 21, la corrente della pila 27 non può traversare i rocchetti del ricevitore 7; le onde ricevute sono riprodotte dal rocchetto, ma non vengono registrate, e l'apparecchio funziona soltanto da ripetitore.

Colla medesima posizione della chiave del commutatore si può anche far servire l'apparecchio da trasmettitore. Basta per questo scopo manipolare, alla guisa di un tasto Morse, la leva 25 inserita nel circuito primario dell'induttore 14-15. Secondo l'inventore, l'interruttore 28 dovrebbe impedire alle onde di agire sul coherer.

Non sono rappresentate nella figura le derivazioni destinate ad impedire l'azione delle estracorrenti sul coherer.

Coll'apparecchio descritto i sig. Guarini e Poncelet hanno fatto delle esperienze dal gennaio al marzo 1901 tra Bruxelles, Malines e Anversa. Nelle figure qui annesse si vede la maniera, nella quale le antenne furono disposte, alle Colonne del Congresso in Bruxelles (fig. 193), e sulle torri delle cattedrali di Anversa (fig. 194) e di Malines (fig. 195). Non staremo a

descrivere le esperienze di trasmissione reciproca tra Bruxelles e Malines (distanza 21.890 metri) e tra Anversa e Malines (distanza 22.350 m.). Dopo aver dimostrato la possibilità ed anzi la buona riuscita delle comunicazioni a quelle distanze, e dopo aver constatato che, salvo qualche caso eccezionale, lo scambio

Fig. 193.

Fig. 194.

diretto dai segnali tra Bruxelles ed Anversa, separate da una distanza di 42 chm., era impossibile cogli apparecchi adoperati, si procedette alle esperienze di comunicazione tra queste stazioni coll'intervento del ripetitore descritto, il quale era collocato a Malines, alquanto al di fuori della retta che congiunge Anversa con Bruxelles. Secondo il sig. Poncelet queste esperienze furono coronate di pieno successo. Altri però, in base alla relazione dello stesso signor Poncelet, non condividono perfettamente il suo modo di vedere.

Infatti, se parte dei segnali, che furono emessi da Bruxelles, giunsero alla stazione di Malines, e vennero dal ripetitore tra-

smessi automaticamente ad Anversa, ove furono registrati, altri invece rimasero inavvertiti a Malines, e tanto meno poterono giungere sino ad Anversa. Qualche difetto, ad ogni modo, doveva esistere nella stazione ripetitrice, come risultò dal confronto dei segnali giunti ad Anversa con quelli passati per la stazione di Malines, la quale funzionava tanto da ripetitrice che da ricevitrice. Del resto, riportandosi alla fig. 192 si comprende facilmente, che i quattro apparecchi, i quali nel caso considerato traggono contemporaneamente la loro corrente dalla pila 27, e cioè il martellino 5, il ricevitore 7, l'interruttore 28 ed il primario 14 del rocchetto d'induzione, nel quale si trova pure inserito un interruttore, debbono essere troppo difficili a regolare, per non disturbarsi reciprocamente nelle loro funzioni, malgrado tutta l'ingegnosità messa dall'inventore nella disposizione delle varie parti.

Fig. 195.

Il ripetitore Guarini a quanto ci consta, non fu messo dopo quelle esperienze a nuova prova, nè sembra che altri sia riuscito a costruire un ripetitore più perfetto. Il problema del ripetitore sembra anzi oggi abbandonato, e può esserlo infatti, dopo che, in seguito ai perfezionamenti realizzati anche nella costruzione dei ricevitori, il limite delle distanze, per le quali la telegrafia senza filo può dirsi opportuna e pratica, è raggiunto, e persino oltrepassato.

B. Dessau

Citazioni Bibliografiche

[1]) Widts e Rochefort. Bull. de la Soc. des Ing. Civils, nov. 1897.
[2]) Widts e Rochefort. Soc. Franç. de Phys., 6 maggio 1898.
[3]) Veillon. Arch. de Genève, ottobre 1898.
[4]) Grimsehl. Phys. Ztschr. t., 1, p. 343, 1900.
[5]) Margot. Arch. de Genève, 4 ser., t. 3, p. 554, 1897.
[6]) Hofmeister. Wied. Ann., t. 62, p. 379, 1897.
[7]) Hauswaldt. Wied. Ann. t. 65, p. 479, 1898.
[8]) Turpain. L'Éclairage Électrique, t. 29, p. 156, 1901.
[9]) Armstrong e Orling. Brev. inglese n. 19640 del 30 luglio 1900.
[10]) Guarini. Bulletin de la Société belge des Électriciens, t. 18, 1901.
[11]) Schäfer. Renz e Lippold, Brev. inglese, n. 813 del 24 giugno 1899.
[12]) Kitsee e Wilson. Brev. americano, n. 650255 del 22 maggio 1900.
[13]) Kitsee e Wilson. Brev. americano, n. 651044 del 5 giugno 1900.
[14]) Orling e Braunerhjelm. Brev. germanico, n. 105983 del 27 dicembre 1898; Brev. inglese n. 1866 del 26 gennaio 1899.
[15]) Orling e Braunerhjelm. Brev. germanico, n. 189059 del 16 dicembre 1898; Brev. inglese, n. 1867 del 26 gennaio 1899.
[16]) Rupp. Elehtrotechn. Zeitschr., t. 19, p. 237, 1898.
[17]) Dell. Electrical World, t. 33, p. 839, 1899.
[18]) Tissot. C. R., t. 130, p. 902 e 1386, 1900.
[19]) Turpain. Ass. Franç. pour l'avancement des sciences. Congrès de Paris, 1900.
[20]) Brown. Brev. inglese, n. 19710 del 20 giugno 1900.
[21]) Lodge e Muirhead. Brev. inglese, n. 18644 del 12 agosto 1897.
[22]) Armstrong e Orling. Brev. inglese, n. 19640 del 29 sett. 1897.
[23]) Collins. Brev. americano, n. 644497.
[24]) Maréchal, Michel e Dervin. Brev. inglese, n. 13643 del 30 luglio 1900.
[25]) Popoff. Brev. inglese, n 2797 del 12 febbraio 1900.
[26]) Ducretet. Brev. inglese, n. 9791 del 9 maggio 1899.
[27]) Berner. Brev. germanico, n. 109797 del 15 aprile 1899.
[28]) Marconi e « Wireless Telegraph and Signal Company ». Brev. inglese, n. 5657 del 15 maggio 1899.
[29]) Marconi e « Wireless Telegraph and Signal Company ». Brev. inglese, n. 12326 del 1.° giugno 1898.
[30]) Marconi e « Wireless Telegraph and Signal Company ». Brev. inglese, n. 25186 del 19 dicembre 1899.
[31]) Kitsee. Brev. amer., n. 657222 del 4 sett. 1900.
[32]) Cole e Cohen. Brev. inglese, n. 7641 dell' 11 aprile 1899.
[33]) Guarini. Brev. inglese, n. 25691 del 27 dicembre 1899.

CAPITOLO IV

La telegrafia senza filo multipla e sintonica.

55. Disposizioni meccaniche per telegrafia multipla. — Dopo quanto abbiamo visto nel capitolo precedente, il problema della telegrafia senza filo fra due stazioni può dirsi, almeno in massima, oramai risolto, salvo certi perfezionamenti necessari od opportuni nelle diverse parti degli apparecchi. Le condizioni si complicano però enormemente, non appena la telegrafia senza filo dall'orbita dei tentativi o di qualche applicazione isolata, entra nel vero campo della pratica. Col moltiplicarsi di stazioni vicine fra loro le onde emesse da una qualunque di esse non potranno a meno di agire, non solo sul coherer della stazione per la quale esse sono destinate, ma anche su quelli di tutte le altre stazioni non troppo distanti, e ciò perchè il coherer, che di fronte agli altri rivelatori di onde gode del pregio di una grande sensibilità, sembra avere poi il difetto di rispondere indistintamente agli impulsi di qualunque periodo. Una stazione ricevitrice dovrà dunque registrare tutti i dispacci trasmessi dalle stazioni circostanti, e ne dovrà derivare una confusione tale, da diminuire il valore pratico del sistema, a meno che non si trovi modo di ovviare a questo grave inconveniente. Perciò converrà fare in modo, che ciascuna emissione di onde da una stazione trasmettitrice non faccia sentire il suo effetto che in una determinata fra le tante stazioni ricevitrici, e che fra gli apparecchi diversi, di cui una stazione ricevitrice dovrà essere fornita, ciascuno risponda esclusivamente alle onde emanate da una determinata stazione trasmettitrice. Di più bisognerà impedire, che

con qualunque ricevitore, collocato entro la sfera d'azione delle onde, si sia in grado, come cogli apparecchi descritti lo si è effettivamente, di raccogliere qualsiasi dispaccio trasmesso da onde, che passano presso l'antenna di quell'apparecchio.

Coi mezzi, che sinora abbiamo imparato a conoscere, un dispaccio emesso dal telegrafo senza filo somiglia in un certo modo ad un discorso pronunciato ad alta voce. Sinchè la persona che parla e quella che ascolta si trovano in un ambiente chiuso e non sono disturbati in nessun modo, il conversare e l'intendersi reciprocamente riescono facili e sicuri. Se invece le due persone si trovano in mezzo alla folla che occupa una piazza, chi parla ad alta voce si farà sentire, ma si farà sentire da tutti indistintamente, mentre che, se numerose persone parlano contemporaneamente, nessuno potrà in tanta confusione far sentire la propria voce, e far distinguere le sue parole da quelle pronunciate da altri, al di là di una distanza limitatissima dalla sua bocca. Colla voce umana, che giunge direttamente all'orecchio per mezzo delle onde sonore trasmesse nell'aria, non è possibile mettere un riparo agli inconvenienti descritti; ma è ovvio che essi sarebbero evitati, se tutte le persone di quella folla fossero provviste di telefoni e di fili destinati a mettere ciascuna di esse in comunicazione con ogni altra determinata persona. È quello che, oltre all'aumento della distanza alla quale si può fare la conversazione, le reti telefoniche urbane offrono ai loro abbonati; ed è pure quello che, in modo poco diverso, il telegrafo con filo offre a tutto il mondo. Occorre che lo stesso vantaggio divenga possibile anche per la telegrafia senza filo. Anche per questa, in altri termini, bisogna che venga risolto il problema delle *multicomunicazioni* e del *segreto dei dispacci*.

Il bisogno di risolvere questo problema si è infatti sentito sin dai primordi della telegrafia senza filo; ma non vedendosi la possibilità di giungere alla soluzione completa accennata più

sopra, perchè, come abbiamo detto, il coherer sembra rispondere a tutte le onde elettriche che colpiscono la sua antenna, si è cercato di rimediarvi almeno in parte e con mezzi indiretti. Così, il sig. Tommasi [1], per impedire che un dispaccio destinato ad una stazione situata ad una certa distanza dalla stazione trasmettente possa essere ugualmente decifrato da tutte le stazioni più vicine, ricorre al fatto che, secondo lui, la distanza alla quale possono giungere le onde dipende dall'intervallo tra le sfere dell'oscillatore. Alla stazione trasmettente, oltre ad un oscillatore A regolato in maniera, che le onde da esso emesse debbano giungere sino alla stazione ricevitrice, egli colloca un altro oscillatore B, regolato per una distanza un po' inferiore. Supponiamo che coll'oscillatore A si trasmetta un dispaccio; se nello stesso tempo si fa agire l'oscillatore B in modo affatto irregolare, in tutte le stazioni meno distanti di quella, per la quale il telegramma è destinato, le onde emesse dai due oscillatori si combineranno in una confusione indecifrabile, mentre nella stazione ricevitrice prescelta soltanto le onde dell'oscillatore A produrranno il loro effetto.

Il risultato sarà tanto migliore, quanto più il raggio della sfera d'azione dell'oscillatore B si avvicinerà a quello dell'oscillatore A. Ad ogni modo il dispaccio sarà ricevuto, oltrecchè dalla stazione prescelta, anche da tutte quelle situate alla medesima distanza, non chè da quelle più distanti, purchè provviste di apparecchi abbastanza sensibili. La proposta del sig. Tommasi offre dunque soltanto una soluzione assai imperfetta del problema.

Nè molto migliore si presenta una invenzione del sig. Jégou [2], benchè questi, invece di ricorrere all'influenza poco sicura che avrebbe sulla portata delle trasmissioni la lunghezza delle scintille, si serva piuttosto, per regolare questa portata, della diversa altezza delle antenne.

Nel sistema del sig. Jégou a ciascuna stazione ricevitrice si trova una specie di trasformatore con due circuiti induttori ed

un circuito indotto, il quale comunica con un soccorritore od un indicatore di corrente. I due circuiti induttori sono uguali ma avvolti in senso opposto, dimodochè, quando sono percorsi da correnti uguali, i loro effetti sul circuito indotto si distruggono, ed il soccorritore non entra in azione.

Ciascuno dei circuiti induttori comprende una pila ed un coherer, ed è congiunto ad una antenna; ma le due antenne hanno altezze diverse, quella più alta essendo precisamente sufficiente per la distanza che si vuole raggiungere. Si comprende allora, che le onde provenienti da una stazione situata a quella distanza possono agire soltanto sul coherer congiunto all' antenna più lunga, mentre l' altro coherer non viene influenzato e conserva la sua resistenza: soltanto uno dei circuiti induttori è dunque percorso da una corrente, la quale produrrà una corrente indotta e farà agire il soccorritore. A minore distanza dalla stazione trasmettente, i due coherer subiranno entrambi l' azione delle onde, per cui i due circuiti induttori saranno percorsi da correnti di direzioni contrarie, e le loro azioni sul circuito indotto si distruggeranno. Volendo invece corrispondere con una delle stazioni più vicine, nella stazione trasmettente si adoprerà un' antenna di altezza minore, e regolata precisamente in maniera, che le onde emesse sieno capaci di agire soltanto sull' antenna più alta della stazione ricevitrice.

È ovvio, che anche il sistema del sig. Jégou, oltre a richiedere delle istallazioni più complicate di quello del sig. Tommasi, deve agire al pari di questo su tutte le stazioni situate ad una medesima distanza dalla stazione trasmittente. Di più, se quel sistema permette alle stazioni intermedie di premunirsi contro influenze non volute, esso non impedisce in nessun modo che possano essere raccolti i dispacci adoperando, invece degli apparecchi differenziali del sig. Jégou, un coherer ed un' antenna ordinaria.

Meglio ideato dei precedenti appare il sistema di multicomunicazione proposto dal sig. Blondel [3]. Neppure qui, del resto,

si tratta di vera sintonia tra il periodo delle onde emesse dall'oscillatore ed il periodo delle oscillazioni elettriche del ricevitore; al contrario, l'inventore parte dal fatto, che le onde generate da una scarica negli oscillatori soliti, essendo fortemente smorzate, si spengono completamente assai prima che con un'altra scarica cominci una nuova emissione d'onde. Ogni emissione d'onde agisce perciò non diversamente da un impulso unico; e ciò che l'inventore si propone di ottenere è il sincronismo tra la frequenza, colla quale si succedono questi impulsi, ed il ritmo di cui è suscettibile un appropriato apparecchio ricevitore. Il trasmettitore, infatti, non differisce da quelli descritti se non per il fatto, che l'interruttore inserito nel circuito primario dell'apparecchio produttore delle scintille deve funzionare con una frequenza costante ed opportunamente elevata.

Per riprodurre i segnali trasmessi si adopera, o uno degli apparecchi proposti dal sig. Lodge (v. § 44) contenenti un diapason o una lamina vibrante, oppure un telefono speciale, come il monotelefono del sig. Mercadier, il quale non può emettere che dei suoni di una determinata altezza. Non si tratta, beninteso, di riprodurre la parola, ma soltanto dei suoni di una medesima altezza, i quali colla loro durata più o meno lunga rappresentano gli elementi dell'alfabeto Morse. Facilmente si comprende, che un apparecchio di questo genere può vibrare ed emettere dei suoni, soltanto quanto è colpito da impulsi, che si succedono colla frequenza dei suoni suoi propri. Perciò, se diverse stazioni sono fornite di interruttori di frequenze differenti fra loro, e se ciascuna di esse possiede tanti apparecchi ricevitori, rispettivamente accordati coi trasmettitori delle altre stazioni, ogni telegramma potrà essere raccolto solo dal ricevitore cui è destinato, e non disturberà menomamente il funzionamento degli altri apparecchi.

Il sistema del sig. Blondel sembra abbastanza adatto a risolvere il problema della telegrafia senza filo multipla, senonchè,

all' atto pratico una difficoltà si presenta per il fatto, che un coherer del tipo solito per tornare alla resistenza normale richiede gli urti del martellino, e perciò non è in grado di funzionare con una rapidità corrispondente al ritmo dei suoni udibili. Vi sono, è vero, i radioconduttori a decoesione spontanea, come pure i tubi a gas rarefatto sensibili alle onde, ai quali lo stesso sig. Blondel aveva pensato; ma non sempre questi apparecchi offrono quella sicurezza del funzionamento, che è necessaria per una applicazione pratica. Non c'è da meravigliarsi perciò, se il sistema del sig. Blondel è rimasto allo stato di progetto.

Taluni inventori hanno tentato di risolvere il problema della trasmissione simultanea, mediante le onde elettriche propagate nell' aria, di un certo numero di dispacci fra due stazioni, ricorrendo a mezzi analoghi a quelli in uso nelle trasmissioni telegrafiche mediante fili conduttori. Così, i Sig. Cohen e Cole [4] adoperano una disposizione non differente in massima dai distributori di linea di certi sistemi noti di telegrafia multipla, e che essi chiamano un selettore. L' ufficio di questo selettore nella stazione trasmettente è quello di far comunicare l'uno dopo l'altro diversi apparecchi trasmettitori, in un turno da ripetersi con periodo regolare e breve, coll' antenna, mentre nell' altra stazione un selettore identico e di andamento sincrono col primo, compie la medesima funzione per lo stesso numero di apparecchi ricevitori. Uno di questi selettori ha per organo principale un certo numero di aste conduttrici, le quali sono disposte a guisa dei raggi di una ruota, e che, mentre girano rapidamente, vanno ad incontrare l'uno dopo l'altro i contatti corrispondenti ai diversi apparecchi. Un altro sistema di selettore utilizza la discesa di goccie di mercurio entro un tubo inclinato, nel quale esse stabiliscono dei contatti transitori tra una striscia conduttrice disposta lungo il tubo ed una serie di punte di platino, che fanno capo ai diversi apparecchi telegrafici. Dei congegni speciali servono a mantenere fra i distributori delle due stazioni un perfetto sin-

cronismo. Quando questo è assicurato, ciascun apparecchio trasmettitore viene messo in comunicazione sempre con uno stesso ricevitore, e se il turno si ripete con sufficiente rapidità, la facoltà di mandare dei segnali non sarà menomata dal fatto, che le comunicazioni stesse in ogni caso non si stabiliscono che per un tempo brevissimo. Senonchè, ciò che vale per le trasmissioni telegrafiche lungo dei fili conduttori, non si applica senz'altro alla telegrafia senza filo. Anzitutto è da credere, che le onde capaci di agire da una stazione sino ad un'altra molto distante possano varcare anche i piccoli intervalli tra i diversi contatti del sistema selettore, e che per conseguenza i dispacci mandati da un trasmettitore debbano manifestarsi più o meno in tutti i ricevitori. Sarebbe necessario evidentemente, per evitare questa possibilità, che l'apparecchio ricevitore in un certo modo fosse protetto contro l'azione delle onde, all'infuori di quelle, che gli sono trasmesse da un determinato apparecchio mittente.

Per ottenere questo risultato, il sig. Walter [5] forma ogni segnale con una serie di impulsi o di emissioni d'onde separate, che si succedono con intervalli determinati, ma non uguali. A tale scopo, l'apparecchio che genera le onde è messo in azione, invece che dal solito tasto telegrafico, da un manipolatore speciale, il quale, quando viene abbassato, oltre a chiudere subito per un istante la corrente del rocchetto, libera un disco girevole, e gli fa compiere un giro rapido, durante il quale, mediante certe sporgenze distribuite irregolarmente lungo la sua circonferenza, vengono stabilite altrettante brevi chiusure dello stesso circuito. L'altra stazione comprende, nel circuito del proprio coherer, un disco simile al primo, che viene liberato per effetto del primo impulso prodotto nella stazione trasmettente nell'atto stesso in cui viene abbassato il manipolatore. Anche il disco della stazione ricevente compie, colla stessa velocità dell'altro, un intero giro, e per mezzo di contatti distribuiti lungo la sua circonferenza, in modo simile a quelli del disco della stazione trasmet-

tente, chiude il circuito del coherer e della sua pila negli stessi istanti, nei quali il coherer per effetto delle onde è diventato conduttore. L'apparecchio registratore, il quale traduce in segni visibili i segnali mandati dall'altra stazione, è costruito in maniera da non funzionare se non per impulsi che si succedano nel numero e cogli intervalli dati dai contatti dei dischi giranti. Delle onde che arrivino con un ritmo differente, sebbene debbano produrre il loro effetto sul coherer non potrebbero mettere in azione l'apparecchio registratore, perchè i momenti nei quali avviene l'azione sul coherer potranno coincidere solo parzialmente con quelli, nei quali si stabiliscono i contatti sul disco girante, laddove per far agire il registratore è necessaria la coincidenza completa.

Siccome poi la conduttività del coherer prodotta da un contatto deve essere distrutta, prima che avvenga il contatto successivo, l'apparecchio richiede un coherer a decoesione assai rapida o meglio spontanea. Tutto sommato però, la complicazione dei vari suoi organi rende il sistema descritto soggetto a frequenti guasti; e in ogni caso, mentre esso consente lo scambio simultaneo di un certo numero di telegrammi tra due stazioni, che dispongano di apparecchi accordati in modi differenti, non esclude in via assoluta, specialmente quando funziona uno solo dei trasmettitori, che si possano abusivamente raccogliere i telegrammi. Infatti, se nel ricevitore del sistema Walter ogni segno è il risultato di una determinata successione di emissioni di onde, ciascuna di queste emissioni da sola non mancherà certamente di produrre il suo effetto anche sopra un coherer qualunque, colla differenza soltanto che in luogo di tanti segni semplici, il ricevitore Morse trascriverà altrettanti gruppi di questi segni. Meglio che per la telegrafia, il sistema descritto si presterebbe forse per altre azioni a distanza, quali la manovra di apparecchi, l'esplosione di mine ecc., per le quali, infatti, l'inventore sembra lo abbia in primo luogo destinato.

Comunque sia, l'idea dell'accordo meccanico tra il trasmettitore ed il ricevitore si è presentata anche ad altri inventori. La troviamo nel sistema telegrafico del sig. A. Bull [6], il quale pure fa consistere ogni segnale in un gruppo di emissioni di onde. A tale scopo il trasmettitore contiene una striscia di carta trascinata con velocità possibilmente costante mediante ingranaggi e rotelline. Ogni manovra del tasto telegrafico mette in azione un meccanismo, il quale, senza rallentare il movimento della carta, produce in questa un foro. La carta passa poi sotto alcune molle successive, che non possono toccare i sottostanti pezzi metallici appunto per l'interposizione della striscia; ma ogni volta che il foro arriva sotto una molla, si stabilisce il relativo contatto, e si chiude un circuito locale, di cui fa parte un soccorritore.

L'áncora di questo istrumento produce allora la chiusura della corrente induttrice nel rocchetto, e quindi la scintilla nell'oscillatore e l'emissione di onde dall'antenna. E siccome tutte le molle da una parte, e tutti i sottoposti contatti dall'altra, sono in comunicazione fra loro, ad ogni abbassamento del tasto fanno seguito tante emissioni di onde quante sono le molle, con intervalli di tempo determinati dalle distanze che separano le molle medesime, dato che il moto della carta sia uniforme. È nel numero e nella grandezza di questi intervalli che differiscono fra di loro i varî apparecchi trasmettitori di una stazione.

La disposizione di ogni trasmettitore si ripete, in ordine inverso, nel rispettivo ricevitore. Le onde che giungono sono raccolte dall'antenna ed agiscono sul coherer; questo mette in azione un congegno simile a quello del sistema trasmettitore, di guisa che se, per esempio, quest'ultimo contiene quattro molle, ogni foro nella carta della stazione trasmettente dà luogo a quattro emissioni di onde, le quali poi, alla stazione ricevitrice, si traducono in quattro fori nella striscia di carta di questa stazione. Quest'ultima striscia passa poi sotto

una serie di molle identica a quella dell'altra stazione; se non che nel sistema ricevitore i quattro contatti sono in serie anzichè in derivazione, per cui la corrente non può chiudersi, che a condizione che i quattro fori si trovino simultaneamente sotto le quattro molle. Ciò avviene evidentemente soltanto, quando questi fori provengono dall'azione del trasmettitore corrispondente al ricevitore adoperato.

Ne viene, che possono funzionare contemporaneamente, senza disturbarsi reciprocamente, molti apparecchi; ma, quando ne funziona uno solo, neppure il sistema Bull, per le stesse ragioni che abbiamo esposte parlando del sistema Walter, è in grado di assicurare il segreto delle corrispondenze. Non converrebbe poi, per accrescere la potenzialità del sistema, aumentare troppo il numero dei contatti attraverso i quali deve passare la striscia di carta. Infatti, mentre i segnali necessari per una lettera sono già numerosi, perchè il sistema descritto non ammette due segni differenti, quali i punti e le lineette dell'alfabeto Morse, le cose si complicano ancora per il fatto, che la trasmissione di ognuno di questi segnali richiede quel dato numero di emissioni di onde, che non possono succedersi troppo rapidamente. E questo è forse il punto più debole del sistema, il quale, per quanto ideato assai ingegnosamente, non sembra esser mai entrato nella pratica.

56. Il sistema sintonico di Lodge e Muirhead. — Da quanto fu detto nel paragrafo precedente si vede, che nessuno dei sistemi ivi descritti risolve in modo soddisfacente il problema della telegrafia multipla. Per risolvere veramente questo problema, bisognerebbe che le onde elettriche generate alla stazione trasmettente fossero di una determinata frequenza arbitrariamente scelta, e che la stazione ricevitrice comprendesse un qualche organo capace di essere influenzato da queste onde, e da queste soltanto, rimanendo insensibile alle onde di qualunque altra

frequenza. Occorrerebbe, in altre parole, che fra i due apparecchi generatore e ricevitore delle onde, vi fosse sintonia.

Ed invero, questa via per risolvere il problema della multicomunicazione è stata scelta dagli inglesi Lodge e Muirhead [7], dei quali già imparammo a conoscere il sistema di telegrafia sintonica per induzione tra circuiti chiusi, ideato nel 1897, cioè sin dai primordi della telegrafia per mezzo delle onde elettriche. Anche qui, come nell'altro sistema al quale ora abbiamo accennato, il metodo adottato fu quello di dare ai due apparecchi oscillatore e risonatore una disposizione e delle dimensioni per quanto è possibile identiche.

Per l'apparecchio trasmettente il còmpito di accordarlo per una frequenza unica delle onde generate si presenta abbastanza semplice. Nell'oscillatore di Righi la comunicazione tra le due sfere di mezzo, e le altre che fanno capo al rocchetto d'induzione, non si stabilisce che durante brevi istanti per mezzo delle scintille laterali; il periodo delle oscillazioni generate rimarrà dunque poco influenzato da ciò che succede nel rocchetto d'induzione e nelle comunicazioni laterali, e sarà essenzialmente quello spettante al sistema delle due sfere di mezzo. Anche Lodge e Muirhead si sono tenuti a questa forma di oscillatore, aggiungendovi però delle opportune capacità ed autoinduzioni, le quali, come si è visto nella seconda parte di questo libro, fanno crescere il periodo o abbassano la frequenza delle oscillazioni. Nella fig. 196, p. e., la quale rappresenta schematicamente due stazioni trasmettitrice e ricevitrice l'una di fronte all'altra, le due sfere h_2 e h_3, fra le quali scocca la scintilla, sono congiunte, per mezzo di fili avvolti a spirale, a due coni metallici h ed h_1, che fanno da capacità. Un'altra disposizione si

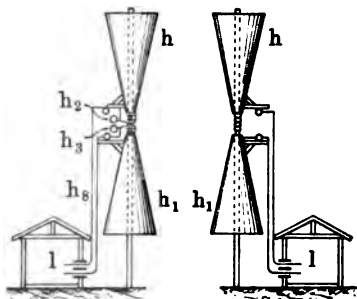



Fig. 196.

vede nella fig. 197. L'oscillatore è costituito dalle due sfere h_2 ed h_3 unite ad opportune autoinduzioni e capacità, e si carica per mezzo di due scintille, che scoccano dai conduttori h_1, e h_4 comunicanti colle armature esterne di due bottiglie di Leyda, le armature interne delle quali sono congiunte ai poli del rocchetto d'induzione. I rocchetti d'autoinduzione si fanno con pochi giri di filo, che possono essere avvolti sopra un nucleo di ferro, ed il valore dell'autoinduzione, e con esso il periodo delle oscillazioni, può variarsi, sia variando la distanza tra le spire per mezzo di un movimento a leve, sia sostituendo i rocchetti con altri di un numero maggiore o minore di spire.

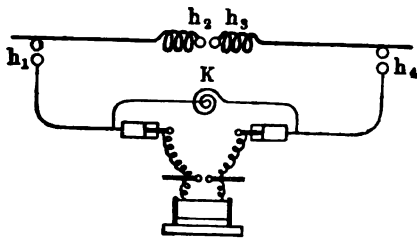



Fig. 197.

Per il ricevitore il cómpito si presenta meno facile; anzi, secondo esperienze fatte dal Sig. Tietz [8], la sintonia tra l'oscillatore ed il risonatore, quando quest'ultimo comprende il coherer, sarebbe impossibile, se veramente il coherer rispondesse a qualunque lunghezza d'onda. Perciò, il Sig. Tietz proponeva l'uso di altri indicatori d'onde, i quali però non sono mai entrati nell'uso pratico. I Sig. Lodge e Muirhead asseriscono invece di avere superata la difficoltà semplicemente coll'inserire in un modo speciale il coherer nel circuito del risonatore. Nella fig. 198 è indicato questo modo d'inserzione. Il circuito somiglia ai risonatori circolari di Hertz; *c* è il coherer a contatto unico, *a* il ricevitore telegrafico messo in derivazione, assieme alla pila *b*, sulle armature di un condensatore *n* di capacità conveniente.

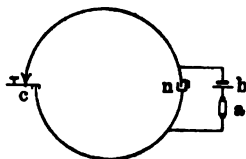



Fig. 198.

Più tardi i Sig. Lodge e Muirhead hanno adottato per il ricevitore una disposizione perfettamente simile a quella del-

l' oscillatore. Anzi la stessa disposizione (fig. 199) può servire tanto per la trasmissione quanto per il ricevimento dei segnali, bastando per quest'ultimo scopo congiungere fra di loro, mediante

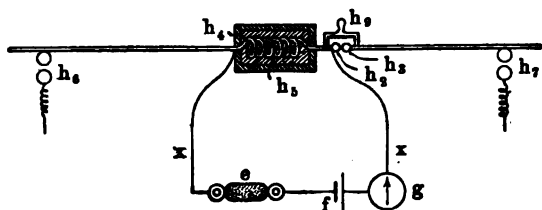



Fig. 199.

la staffa h_9, i due conduttori, fra i quali scoccano le scintille, quando l'apparecchio fa da trasmettitore. Infine, la fig. 200 rappresenta un' altra disposizione, nella quale il risonatore, costituito semplicemente da due capacità h, h_1 congiunte mediante un rocchetto h_4, non contiene nè il coherer nè l'apparecchio telegrafico colla sua pila. Le oscillazioni eccitate per risonanza agiscono sul coherer per mezzo delle correnti indotte generate in un rocchetto secondario u, il quale circonda quello h_4 del risonatore, ed è inserito nel circuito del coherer e assieme alla pila f ed all'apparecchio telegrafico g. È, in sostanza, la stessa disposizione, la quale come già vedemmo, venne adottata più tardi anche dalla « Wireless Telegraph and Signal Company », e che, come vedremo qui appresso, costituisce pure un elemento importante del sistema di telegrafia sintonica di questa Compagnia. I Sig. Lodge e Muirhead non sembrano aver dato una grande importanza a questa disposizione, la quale tuttavia sembra costituire la parte migliore del loro sistema; fatto sta, che quest' ultimo, a quanto si è potuto sapere, non fu mai sperimentato su vasta scala.

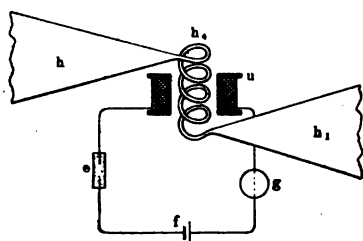



Fig. 200.

57. **Il sistema Braun** [9]. — Diversamente dalla maggior parte dei sistemi di telegrafia senza filo, nei quali più che altro si è cercato di perfezionare gli organi ricevitori, nel sistema, di cui ora dobbiamo parlare, si è modificato soprattutto l'apparecchio produttore delle onde. Secondo il Sig. Braun, infatti, la solita disposizione dell'oscillatore, riunito da un lato ad un filo che conduce alla terra, dall'altro lato all'antenna, la quale diventa sede di oscillazioni assai rapide, è difettosa per più ragioni. Per estendere la zona d'azione non si ha, con questa disposizione, che l'unico mezzo incomodo di aumentare l'altezza dell'antenna, perchè l'altra via, che sarebbe quella di accrescere l'energia della scarica mediante l'impiego di potenziali più elevati, è accessibile soltanto entro limiti abbastanza ristretti. Non solo i potenziali molto elevati possono riuscire pericolosi e richiedono un isolamento perfetto e difficile a realizzarsi dell'antenna e delle sue comunicazioni, ma volendo aumentare la distanza tra le sfere dell'oscillatore, ossia la lunghezza delle scintille, dalla quale appunto dipende il potenziale di scarica, si arriva presto ad un punto, al di là del quale la scarica perde il suo carattere oscillatorio. E prima ancora che sia raggiunto questo punto, una parte sempre maggiore dell'energia di scarica si trasforma in calore nella scintilla, rimanendo perduta per lo scopo che si vuole raggiungere, mentre diventa più forte nello stesso tempo lo smorzamento delle oscillazioni prodotte da ciascuna scarica. È ben vero, che le oscillazioni debbono spegnersi gradatamente per il fatto stesso della dissipazione dell'energia da loro emessa nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche, e la trasmissione a grandi distanze richiede appunto, che l'oscillatore emetta il massimo possibile di energia elettromagnetica; ma tanto più è necessario che vengano limitate, d'altra parte, le cause di smorzamento non inerenti alla radiazione stessa, perchè le onde fortemente smorzate, comportandosi pressochè come impulsi isolati che si succedono colla frequenza delle interruzioni della corrente pri-

maria, agiscono quasi indifferentemente su qualunque ricevitore e perciò male si prestano a risolvere il problema della sintonia.

Questi inconvenienti, secondo il sig. Braun, dipendono in gran parte dalla disposizione dei soliti oscillatori, i quali sono costituiti da circuiti aperti di debole capacità. In questi apparecchi non si possono accumulare che delle piccole quantità di energia, le quali nell'atto della scarica si sperdono rapidamente, prima che le cariche possano essere rifornite dal rocchetto d'induzione. Basta però avvicinare fra di loro le lastre terminali, le quali, come si è visto nel § 32, si trovano in una delle forme originali dell'oscillatore di Hertz, per togliere od almeno per diminuire gli inconvenienti accennati. Infatti queste lastre, se sono parallele e separate soltanto da un sottile strato coibente, vengono a formare un vero condensatore, che può avere una grande capacità, e con questa è aumentata anche la persistenza delle oscillazioni della scarica. Nello stesso tempo anche il periodo delle oscillazioni cresce colla capacità del sistema, ossia cresce la lunghezza delle onde emesse, e questo fatto pure può riuscire vantaggioso, giacchè più le onde sono lunghe, e meglio sono atte a girare gli ostacoli, che si oppongono al loro cammino. Nel sistema del signor Braun la lunghezza delle onde, la quale nei sistemi primitivi forse non superava alcune diecine o centinaia di metri, raggiunge valori più grandi. Una autoinduzione inserita nel circuito contribuisce anch'essa a regolare opportunamente il periodo delle onde emesse.

Senonchè, la disposizione descritta, la quale essenzialmente è formata da un condensatore col suo circuito di scarica, ossia da un circuito quasi chiuso, permette bensì la produzione di oscillazioni persistenti nel circuito stesso, ma queste oscillazioni non generano che delle deboli onde nel dielettrico ambiente. Occorre dunque che le oscillazioni possano dal circuito quasi chiuso comunicarsi ad un circuito aperto. In altre parole, bisogna unire opportunamente al circuito quasi chiuso del condensatore, l'an

tenna adottata negli apparecchi di Marconi. Questa allora prende parte alle oscillazioni del sistema eccitatore, e meglio di questo le diffonde nello spazio ambiente.

Naturalmente, perchè le oscillazioni eccitate nell'antenna possano raggiungere il massimo d'ampiezza, occorre che vi sia risonanza, e cioè eguaglianza tra i periodi vibratori del circuito e dell'antenna. L'importanza della risonanza è messa in evidenza dal sig. Braun mediante la disposizione della fig. 201, nella quale C_1 e C_2 sono due condensatori che vengono caricati con una sorgente di elettricità non rappresentata nella figura, e che si scaricano mediante la scintilla F F_1. Le armature esterne comunicano fra loro mediante il circuito ad autoinduzione PDQ, e nello stesso tempo da queste armature partono due fili metallici A A_1 e B B_1. Le oscillazioni di potenziale, che si riproducono ad ogni scarica nelle armature esterne, ne provocano di analoghe nei due fili, le quali raggiungono il massimo d'ampiezza, quando le lunghezze di questi fili sono uguali ad un quarto della lunghezza dell'onda. In questo caso su ciascuno dei fili si forma un'onda stazionaria, con un nodo presso al condensatore e con un ventre all'estremità libera.

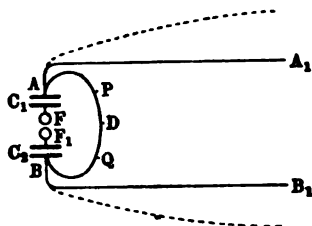



Fig. 201.

Ed infatti, spostando lungo uno dei fili e a breve distanza una pallina metallica comunicante col suolo, si ottengono scintille tanto più lunghe, quanto più la pallina si porta verso l'estremità. Dando ad uno dei fili una lunghezza uguale a tre quarti di onda (fig. 202) si constata l'esistenza di due nodi, situati, l'uno presso il condensatore, l'altro a due terzi della lunghezza del

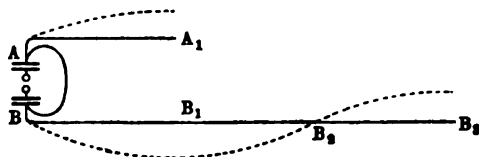



Fig. 202.

filo, e di due ventri, uno nel punto di mezzo tra i due nodi, e l'altro all'estremità libera.

Le estremità libere dei fili, sia che questi abbiano la stessa lunghezza, sia che la lunghezza dell'uno sia tripla di quella dell'altro, si trovano dunque sempre a potenziale di egual valore assoluto.

Si può constatare la distribuzione del potenziale lungo i fili, anzichè mediante le scintille che scoccano tra essi ed una pallina comunicante colla terra, mediante un tubo di scarica a gas rarefatto, il quale si illumina col massimo d'intensità vicino ai ventri e poco o punto vicino ai nodi di potenziale.

Che si tratti di un vero fenomeno di risonanza tra il circuito dei condensatori ed i circuiti aperti dei due fili, lo dimostra anzitutto il fatto, che la lunghezza delle scintille ottenute nel modo descritto, arrivò nelle esperienze del sig. Braun a quasi 40 millimetri all'estremità libera dei fili, mentre la scintilla tra le armature dei condensatori stessi non era che di 5 millimetri. Questo fatto rimarrebbe inesplicabile, se non si sapesse, che la risonanza può accumulare delle azioni anche minime sino a produrre un effetto complessivo superiore di gran lunga all'intensità istantanea della causa. Distruggendo invece la risonanza, si fa diminuire assai l'intensità delle oscillazioni nei fili. Per produrre questo effetto il sig. Braun fa aumentare la resistenza del circuito ad autoinduzione PDQ (fig. 201) inserendovi una colonna liquida. Quantunque questa non abbia tal resistenza da togliere alle scariche il loro carattere oscillatorio, pure la lunghezza delle scintille laterali alle estremità libere dei fili è diminuita di più della metà. Le oscillazioni sui fili, in questo caso, costituiscono quelle che si chiamano delle oscillazioni *forzate*.

La disposizione descritta non differisce sostanzialmente dalla disposizione di Lecher, della quale si è parlato nel § 31, giacchè i condensatori, assieme al ponte fisso che congiunge i fili paral-

leli, ed ai tratti di questi che si trovano tra i condensatori ed il ponte, costituiscono il circuito di scarica corrispondente al circuito C_1C_2QDP della fig. 201. Anche nella disposizione di Lecher vi è risonanza tra questo circuito ed i circuiti aperti dei fili paralleli, senonchè con questa disposizione non si possono ottenere, secondo il Sig. Braun, che degli effetti poco intensi, sia perchè l' oscillazione primaria è troppo smorzata, sia perchè i fili sono troppo vicini fra di loro, ed infine perchè questi sono congiunti al circuito eccitatore in punti meno favorevoli, di quelli che si trovano nella vicinanza immediata dei condensatori.

Se la differenza fra i periodi d' oscillazione del circuito eccitatore e del conduttore aggiunto diviene troppo forte, le oscillazioni forzate, che si producono in quest' ultimo, non possono più formare delle vere e proprie onde stazionarie, e la loro intensità necessariamente rimane assai piccola. Tale sarebbe, secondo il Sig. Braun, il caso dell' antenna del trasmettitore Marconi. Infatti, con un filo lungo congiunto ad uno dei poli di un rocchetto d' induzione, l' altro polo del quale era in comunicazione colla terra, il Sig. Braun fece vedere, che dei tubi di scarica distribuiti lungo quel filo si illuminavano tutti nello stesso modo, e perciò non indicavano l' esistenza di nodi e ventri. Secondo il Sig. Slaby [10] questo fenomeno sarebbe però dovuto al fatto, che alle variazioni rapide del potenziale dovute alla scarica oscillatoria si erano sovrapposte le variazioni lente del potenziale nel circuito secondario del rocchetto d' induzione; queste ultime, come fece vedere il Sig. Slaby, si eliminano mettendo a terra il polo del rocchetto, dal quale parte l' antenna, ed allora soltanto si può riconoscere, come lungo di questa varii il potenziale. Tuttavia, secondo il Sig. Braun [11], anche con questa disposizione all' oscillazione propria dell' antenna si sovrapporrebbero sempre, sebbene con intensità minore, le oscillazioni del circuito eccitatore. Ad ogni modo, la differenza fra il sistema Marconi e quello del Sig. Braun non sta soltanto nel fatto, che in quest' ul-

timo si produca un ventre del potenziale all'estremità libera dell'antenna, ma piuttosto nel modo col quale si riesce ad impiegare in queste oscillazioni delle quantità notevoli di energia, senza incorrere nell'inconveniente di un forte smorzamento. Come abbiamo visto, il Sig. Braun adopera per questo scopo dei condensatori capaci di accumulare, senza che occorrano dei potenziali molto elevati, delle quantità di energia sufficienti per colmare le perdite, che continuamente sono prodotte dal fatto stesso dell'emissione delle onde.

La fig. 203, nella quale si vede il condensatore C, che si carica mediante un rocchetto d'induzione, l'intervallo nel quale

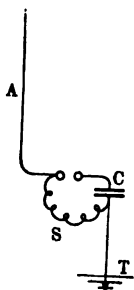
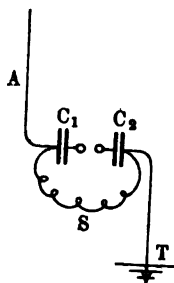



Fig. 203. Fig. 204.

si producono le scariche, e l'autoinduzione S che completa il circuito di scarica, rappresenta una delle forme più semplici del sistema del Sig. Braun. L'antenna comunica con una delle sfere, tra le quali scoccano le scintille, l'altra sfera comunica con un'armatura del condensatore, e la seconda armatura è messa a terra. Come vedremo, questa disposizione non differisce sostanzialmente da una disposizione adottata per il suo sistema di telegrafia sintonica dal Sig. Slaby, il quale però finì coll'abbandonarla. Anche il Sig. Braun, del resto, diede poi la preferenza alla disposizione simmetrica della fig. 204, la quale risulta senz'altro da quella della fig 201, se dei due fili AA_1 e BB_1, uno diventa l'antenna, e l'altro viene messo in comunicazione colla terra. In seguito però il Sig. Braun trovò superflua, almeno per

il trasmettitore, la comunicazione colla terra, e lasciò isolato il secondo conduttore.

Invece di uno o di due condensatori, se ne può adoperare anche un numero maggiore, congiungendoli in serie come mostra

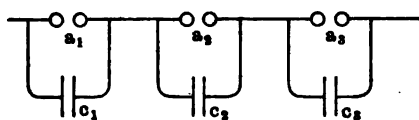



Fig. 205.

la fig. 205, ma nello stesso tempo in tale guisa, che si formino delle scariche tra le armature di ciascun condensatore e non già, come succede nella forma solita della cosidetta disposizione *a cascata*, soltanto tra le armature estreme di tutta la serie. Si può così combinare assieme un numero qualunque di condensatori, utilizzando delle grandi quantità di energia, senza compromettere tuttavia il carattere oscillatorio della scarica, e senza modificarne neppure il periodo, perchè ciascun condensatore si scarica tra le proprie armature. La migliore forma da darsi a questa disposizione, secondo il sig. Braun, sarebbe quella della fig. 206, nella quale una delle armature di ciascun condensatore essendo completamente circondata dall'altra, la capacità delle sfere e dei fili di congiunzione è ridotta al minimo possibile.

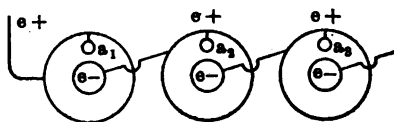



Fig. 206.

La comunicazione diretta e metallica non è del resto l'unico mezzo per trasmettere ad un conduttore aperto le oscillazioni generate nel circuito dei condensatori. Si può ricorrere al cosidetto accoppiamento elettromagnetico, ossia si può separare completamente tanto dall'antenna quanto dalla terra il circuito, nel quale avvengono le scariche, inserendo in questo circuito l'avvolgimento primario di un rocchetto, l'avvolgimento secondario del quale comunica da un lato coll'antenna, dall'altro

lato colla terra oppure con un altro conduttore. Lo schema di questa disposizione si vede nella fig. 207, nella quale J rappresenta il rocchetto d'induzione, che serve a caricare i due condensatori CC, i quali si scaricano con scintille attraverso

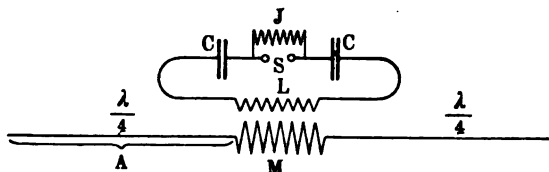



Fig. 207.

l'intervallo S. Le oscillazioni che nascono nel circuito di questi condensatori, e che percorrono l'avvolgimento L di un rocchetto d'induzione o trasformatore, agiscono per induzione sull'altro avvolgimento M, producendovi delle oscillazioni analoghe, le quali raggiungono il massimo d'ampiezza, quando il periodo proprio del sistema costituito dall'avvolgimento M, dall'antenna A, e dall'altro conduttore comunicante con M, è uguale a quello del circuito, nel quale avvengono le scariche.

Questa *eccitazione induttiva*, la quale costituisce una parte importante del sistema del sig. Braun, offre la possibilità, secondo il suo inventore, di impiegare delle energie maggiori di quelle che consente l'accoppiamento diretto, anche facendo uso di condensatori. Secondo misure eseguite dal sig. Braun, aumentando l'intensità della corrente nel circuito primario del rocchetto, che serve a caricare l'oscillatore, col sistema solito e senza l'uso dei condensatori si giunge presto ad un punto tale, che un ulteriore aumento dell'intensità di quella corrente non fa più crescere affatto l'energia elettromagnetica irradiata dall'antenna, mentre coll'uso dei condensatori, e specialmente coll'eccitazione induttiva, tale energia continua a crescere. L'energia delle correnti intense, le quali sono necessarie per le trasmissioni a grandi distanze, viene così meglio utilizzata, e

si possono ottenere nel circuito dell'antenna, specialmente se questo è in risonanza coll'altro circuito, delle oscillazioni di grande intensità. Queste oscillazioni sono poco smorzate, perchè il circuito dell'antenna è completamente metallico, e non vi è per conseguenza nessuna causa notevole di perdita di energia all'infuori della radiazione stessa, ed inoltre le oscillazioni appartengono quasi esclusivamente ad un determinato periodo, il quale si può variare entro larghi limiti variando opportunamente le dimensioni elettriche dei circuiti. Inoltre, essendo il circuito dell'antenna completamente separato da quello dei condensatori, esso è percorso soltanto da quelle correnti oscillatorie, le quali, come è noto, malgrado i loro potenziali elevatissimi, non producono effetti fisiologici dannosi, e perciò questo circuito può toccarsi impunemente, e non richiede nessun isolamento speciale. Infine, essendovi comunicazione colla terra, restano eliminate le scariche atmosferiche, le quali potrebbero intralciare il funzionamento degli apparecchi, ed anche riuscire pericolose.

Anche con questo sistema si possono riunire più condensatori nel modo rappresentato dalla fig. 205, con che si arriva

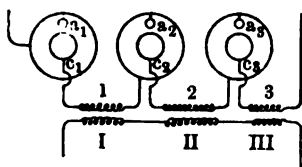
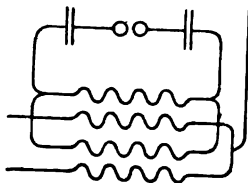



Fig. 208. Fig. 209.

ad una disposizione del genere di quella della fig. 208. Oppure, come si vede nella fig. 209, si può distribuire l'oscillazione primaria fra un certo numero di circuiti induttori, i quali agiscono su un egual numero di circuiti indotti riuniti in parallello e comunicanti da un lato coll'antenna, dall'altro lato colla terra. Nè con questo è esaurito il numero delle possibili modificazioni aventi lo scopo di produrre delle vibrazioni per quanto è pos-

sibile pure, e di aumentare la quantità d'energia emessa mettendo in giuoco delle grandi quantità di energia coll'uso dei condensatori, o elevando il potenziale nell'antenna per mezzo dei trasformatori. Non ci occupiamo di queste modificazioni perchè, non essendo intrinsecamente diverse da quelle già descritte, non offrono un interesse particolare.

Il *ricevitore*, in un certo modo, non è altro che l'inversione dell'apparecchio generatore e trasmettitore delle onde. Mentre quest'ultimo deve emettere delle onde possibilmente pure e poco smorzate, il ricevitore deve essere costituito in modo da rispondere colla massima sensibilità alle onde di quel determinato periodo, ed il meno possibile all'azione di onde di periodi differenti. Come negli altri sistemi, anche nel sistema del sig. Braun le onde vengono ricevute da un'antenna, la quale però le trasmette, non già direttamente al radioconduttore, ma ad un circuito di risonanza, il quale deve accumulare l'energia che gli arriva. Questo circuito, come si vede nella fig. 210, è costituito,

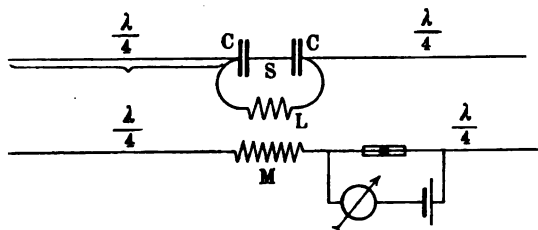



Fig. 210.

analogamente a quello della stazione trasmettitrice, da due condensatori CC riuniti mediante un rocchetto L e congiunti da un lato all'antenna, dall'altro lato ad un filo uguale ad essa, o ad un altro conduttore di ugual periodo vibratorio. Per ottenere il miglior effetto, la capacità e l'autoinduzione di questo circuito debbono essere tali da stabilire la risonanza, sia colle onde emesse dall'altra stazione, sia coll'altro circuito che comprende il secondo avvolgimento M del trasformatore. Se queste condi-

zioni sono soddisfatte, il ricevitore diventa insensibile o quasi, non solo alle onde che non abbiano il suo periodo, ma anche, secondo il sig. Braun, alle perturbazioni atmosferiche, mentre reagisce colla màssima intensità alle onde, per le quali è accordato. Nella figura si vede puro come il coherer colla sua pila e col soccorritore, che chiude il circuito locale, è congiunto al

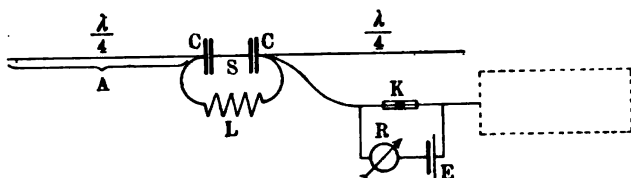



Fig. 211.

secondario del trasformatore, che fa parte della stazione ricevitrice. Invece di questa eccitazione induttiva, analoga a quella della stazione trasmettitrice, il circuito del coherer può anche essere attaccato direttamente al circuito dei condensatori, oppure si può adottare un sistema misto, congiungendo direttamente i due circuiti, ma unendovi pure un rocchetto, sul quale agisca per induzione un altro rocchetto facente parte del circuito dei condensatori. Queste due disposizioni, le quali sono rappresentate nelle fig. 211 e 212, non hanno bisogno di ulteriore spiegazione. Diremo soltanto che, tanto nelle diverse disposizioni dell' apparecchio ricevitore quanto anche in quelle del trasmettitore,

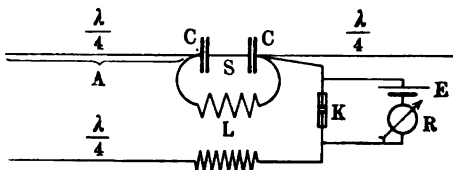



Fig. 212.

i conduttori annessi ai condensatori simmetricamente all' antenna, oppure ai due lati del secondo avvolgimento del rocchetto, benchè rappresentati come fili rettilinei nelle figure schematiche, possono essere avvolti ad elica, oppure essere sostituiti con lastre o conduttori di altre forme, purchè dotati dello stesso periodo d'oscillazione.

Il sistema del sig. Braun, assieme a certe modificazioni introdottevi dalla casa Siemens e Halske, è sfruttato dalla « Gesellschaft für drathlose Telegraphie ». Delle disposizioni che furono date agli apparecchi, rileviamo i particolari seguenti. Il circuito, nel quale nascono le oscillazioni, comprende quale parte essenziale, come già abbiamo detto, i due condensatori indicati nella fig. 207. Ciascuno di questi condensatori, come si vede nella fig. 213, è costituito da un certo numero di bottiglie di

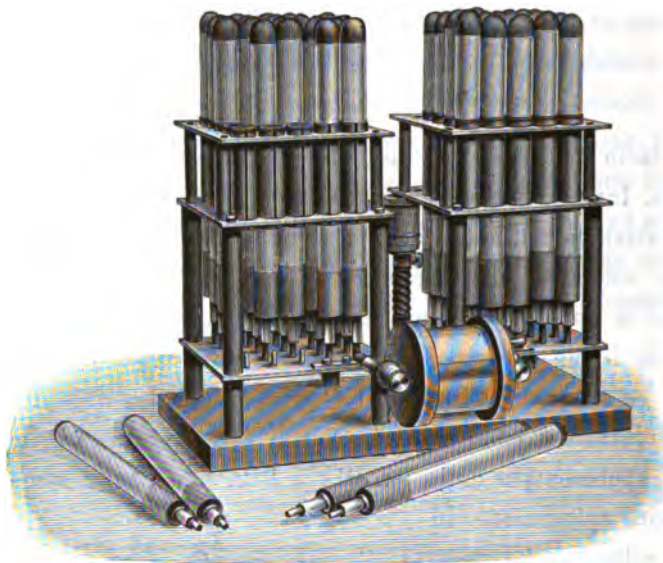



Fig. 213.

Leyda formate ognuna con un tubo di vetro di 25 mm. di diametro e di 2 e mezzo o tre di spessore di parete. Il modo nel quale sono riunite queste bottiglie permette senz'altro di aumentarne o diminuirne il numero per variare la capacità del sistema, oppure di sostituirle nel caso di rottura. I condensatori si caricano mediante un rocchetto avvolto in modo speciale onde fornire, non tanto potenziali molto elevati, quanto piuttosto delle grandi quantità di elettricità. La corrente primaria, che

alimenta questo rocchetto, è resa intermittente mediante un interruttore Simon, del quale abbiamo parlato in altro luogo. Quando non si dispone di una corrente molto forte, serve opportunamente un interruttore a getto di mercurio.

I condensatori, come risulta dallo schema della fig. 207, si scaricano mediante una scintilla, e la corrente di scarica percorre l'avvolgimento primario di un trasformatore, le dimensioni del quale sono calcolate in maniera da fornire, assieme alla capacità prescelta dei condensatori, una lunghezza d'onda uguale all'incirca al quadruplo della lunghezza dell'antenna,

Fig. 214.

che si trova nella stessa stazione. Anche l'avvolgimento secondario deve corrispondere a questa frequenza di oscillazioni, e la sua lunghezza si regola a tentativi, sinchè si ottenga il massimo della risonanza. Siccome in questo trasformatore si producono potenziali molto elevati, per garantirne meglio l'isolamento esso viene collocato in un recipiente chiuso pieno d'olio. L'aspetto esterno del trasformatore si vede nella fig. 217.

Nel ricevitore invece, come è naturale, i potenziali rimangono sempre molto bassi, e perciò il trasformatore non ha bisogno dell'isolamento ad olio. Anche il condensatore, benchè

di capacità simile a quella del trasmettitore, può avere dimensioni più piccole, ed essere formato da un certo numero di lamine conduttrici separate da sottili lastre isolanti. I due apparecchi, destinati per una lunghezza d'onda di 200 metri, sono rappresentati nella fig. 215.

Il coherer è formato con polvere d'acciaio tra elettrodi dello stesso materiale. Essendo un lieve grado di magnetismo favorevole alla sensibilità del coherer, senza che resti di molto diminuita l'esattezza del suo funzionamento, uno degli elettrodi, il quale sporge fuori dal tubo del coherer, è collocato tra i poli di una calamita permanente. Spostandola in un senso o nell'altro,

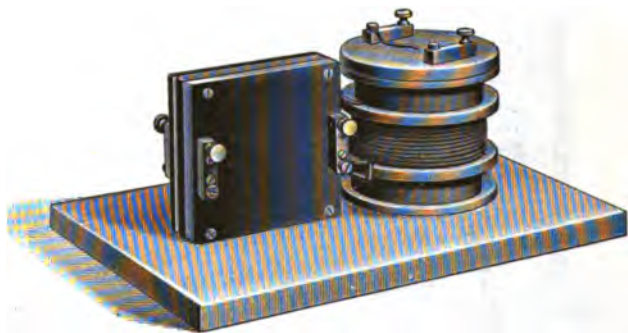



Fig. 215.

si può avvicinare all'elettrodo l'uno o l'altro dei suoi poli, oppure si può far sì, che l'elettrodo si trovi in posizione simmetrica rispetto ai poli, e che le azioni di questi si compensino. Questa disposizione si vede a sinistra del tubo del coherer nella fig. 216, la quale, oltre al martello destinato a ripristinare la resistenza del coherer, mostra pure il soccorritore destinato a chiudere il circuito locale contenente l'apparato scrivente di Morse.

Dopo le esperienze preliminari eseguite a Strasburgo, il sistema descritto fu messo a prova nell'estate 1899 a Cuxhaven vicino ad Amburgo, e più tardi, sino all'autunno 1900, in diverse località situate alla foce dell'Elba, che dovevano comunicare, sia fra di loro, sia coll'isola di Helgoland. Il tempo

cattivo, e l'irregolarità del servizio nel trasporto dei materiali alle stazioni galleggianti, furono causa di molte difficoltà. Cionondimeno, non solo esperienze importanti furono fatte sin dalla fine del 1899 tra le stazioni del continente e l'isola di Helgoland, ma si ebbero anche delle comunicazioni buonissime con alcune navi che solcavano il mare del Nord. Nell'inverno 1899-1900, fra un posto in terra ferma fornito di un'antenna alta 29 m. ed il vapore Silvana, che navigava tra il continente e Helgoland,

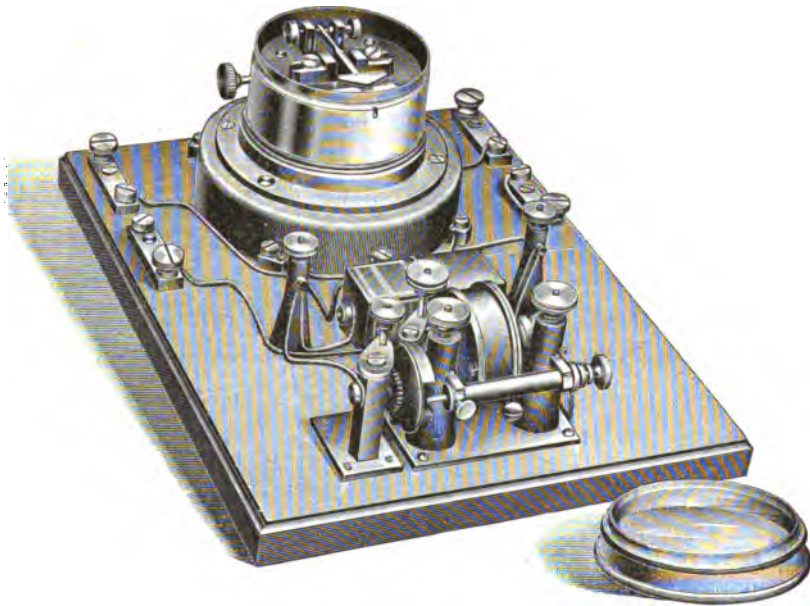



Fig. 216.

e che aveva un'antenna alta soltanto 15 m., dei telegrammi furono scambiati senza errori e regolarmente sino a 32 chm. di distanza. Qualche volta si ebbero dei segnali anche a 50 chm. Altre prove, eseguite nel settembre 1900 tra l'isola di Helgoland ed una stazione del continente distanze 63 chm. da quella, con antenne di 29 e 31 m., diedero dei risultati ugualmente buoni, e servirono, mediante esperienze di confronto, a mettere in luce la superiorità del sistema descritto su quello della comu-

nicazione diretta tra l'antenna e l'apparecchio produttore delle onde. Con quest'ultimo sistema, infatti, nessun segnale potè trasmettersi tra l'isola di Helgoland ed il continente, mentre solo a distanze piccole, e con antenne sensibilmente più alte di quelle necessarie per il sistema Braun, la trasmissione potè aver luogo.

La rapidità, colla quale si possono trasmettere i segnali, è circa la metà di quella che raggiunge un abile telegrafista coll'apparecchio Morse nella telegrafia con filo. Benchè il signor Braun consideri il suo sistema come particolarmente adatto a risolvere anche il problema della sintonia, non si fecero, a quanto pare, che poche esperienze di comunicazione simultanea tra diverse stazioni fornite di apparecchi aventi lunghezze d'onde differenti.

In quanto poi alla questione delle segretezza dei dispacci trasmessi colle onde elettriche è rimarchevole il fatto, che la stessa « Gesellchaft für drahtlose Telegraphie » costruisce un apparecchio ricevitore il quale, se non permette di registrare i dispacci mediante un apparecchio Morse, in cambio non ha bisogno di essere maneggiato con cura, e possiede, secondo i costruttori, una sensibilità tale « da rendere vano ogni tentativo di sintonia, in quanto essa miri a serbare il segreto dei dispacci ». Lo scopo principale dell'apparecchio sarebbe anzi quello di raccogliere qualsiasi dispaccio; e siccome il telefono, il quale in questo apparecchio serve da ricevitore, emette suoni la cui frequenza è quella colla quale funziona l'interruttore dell'apparecchio trasmettitore, così, dato che questa frequenza non sia tale, che il suono esca dai limiti dei suoni udibili, si potrebbero ancora, disponendo davanti al telefono un certo numero di risonatori acustici, separare l'uno dall'altro diversi dispacci, che arrivassero contemporaneamente da varie stazioni trasmettenti.

L'assieme degli organi di questo apparecchio ricevitore si vede nella fig. 217. La sua parte essenziale è un coherer speciale, dotato di una sensibilità tripla di quella del coherer solito.

Esso è formato da una laminetta d'acciaio duro fissata all'estremità di una molla d'acciaio, e da una punta di carbone oppure di acciaio, la quale appoggia contro la laminetta, e può farsi avanzare o retrocedere mediante una vite micrometrica. Il contatto sensibile è percorso dalla corrente di una pila secca, e se questa ha una forza elettromotrice non troppo alta, la pressione nel contatto può essere considerevole, senza che l'apparecchio perda la sua sensibilità per le onde elettriche, mentre diventa meno sensibile alle perturbazioni prodotte da scosse meccaniche. Una disposizione speciale permette di regolare la pressione nel contatto. Gli altri organi dell'apparecchio, che si vedono nella figura, non hanno bisogno di particolare spiegazione.

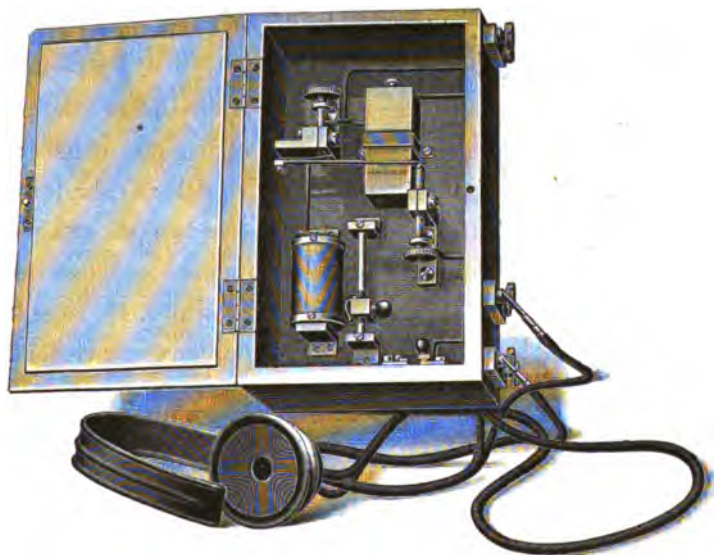



Fig. 217.

58. **Il sistema sintonico Marconi** [12]. — Anche Marconi, come gli altri inventori che si occuparono del problema della telegrafia senza filo, cercò di perfezionare il suo sistema, adattandolo alla trasmissione simultanea di diversi telegrammi tra le medesime stazioni. Egli anzi rivendicò a sè la priorità di tali

perfezionamenti in una conferenza fatta davanti la Società delle Arti di Londra il 15 maggio 1901, basandosi sulle date dei brevetti presi in Inghilterra da lui e dagli altri inventori. Se abbiamo descritto prima il sistema Braun, è stato soltanto, perchè i primi brevetti presi in Germania da questo inventore hanno data anteriore, ciò che non toglie che il Marconi e la « Wireless Telegraph and Signal Company » non abbiano indipendentemente studiate le stesse questioni, e forse anche cominciato prima questi loro studi.

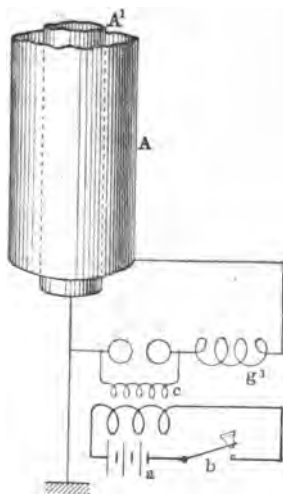
Ad ogni modo, le descrizioni già fatte degli apparati Braun, e di certi apparecchi introdotti prima dallo stesso Marconi, ci permetteranno di essere brevi nel descrivere quelli più recenti dell'inventore italiano. Abbiamo già parlato del trasformatore di costruzione particolare, chiamato *jigger*, il quale, negli impianti della « Wireless Telegraph and Signal Company », è inserito con uno dei suoi svolgimenti tra l'antenna ricevitrice e la terra, mentre l'altro avvolgimento costituisce, assieme al coherer, un circuito indipendente dal primo. Il miglior effetto evidentemente si ottiene, quando i due circuiti sono accordati ad uno stesso periodo d'oscillazione, il quale deve anche essere eguale a quello delle onde emesse dall'apparecchio trasmettitore. Un ricevitore disposto nel modo descritto risponderà male oppure non risponderà affatto ad una frequenza di oscillazione troppo differente dalla sua, mentre vi risponderà perfettamente un altro ricevitore accordato a quella stessa frequenza. Su questo fatto il sig. Marconi cercò dapprima di basare una telegrafia simultanea ed indipendente tra diverse stazioni; ed infatti egli riferisce il successo soddisfacente di esperienze istituite in propoposito con due ricevitori collocati a Poole, sull'isola di Wight, e due stazioni trasmettenti erette l'una a St. Catherine, distante 50 chm., l'altra sopra una nave ancorata a 17 chm. dalla stazione ricevitrice. La differenza tra i periodi delle onde emanate dalle due stazioni trasmettenti era ottenuta adoperando delle antenne di diversa lunghezza, e cioè

di 45 m. alla stazione più lontana e di 27 m. a quella più vicina.

Senonchè, una grave difficoltà risiedeva nel fatto, che le onde emesse dalla disposizione semplice, che serviva in quella esperienza, nella quale l'eccitatore del rocchetto di Ruhmkorff era connesso da un lato alla terra e dall'altro lato all'antenna, sono fortemente smorzate, e perciò, come altre volte facemmo rilevare, facilmente si comportano come impulsi isolati senza periodo determinato, e sono perciò capaci di agire ugualmente su qualunque ricevitore, anche se munito di antenna di lunghezza differente. Persino con antenne di lunghezze tanto differenti, come quelle indicate, la stazione ricevente non poteva distinguere l'uno dall'altro i messaggi trasmessi dalle due stazioni trasmettenti, se queste si trovavano ad una stessa distanza dalla prima.

Bisognava dunque diminuire lo smorzamento delle oscillazioni. Una via per giungere a questo scopo, secondo il Sig. Marconi, sarebbe quella di aumentare la capacità dell'apparecchio oscillatore senza aumentarne nella stessa proporzione anche il potere radiante, ossia l'intensità iniziale delle onde emesse in seguito a ciascuna scarica. Il Sig. Marconi dice di aver ottenuto questo effetto, almeno sino ad un certo punto, collocando semplicemente vicino all'antenna solita un altro filo verticale comunicante colla terra. E si comprende infatti, che in tale guisa rimane aumentata la capacità, mentre il circuito, avvicinandosi alla forma del circuito chiuso, diventa meno adatto a perdere dell'energia per radiazione.

Fig. 218.

Tuttavia, dei risultati migliori si ebbero colla disposizione della fig. 218, nella quale l'antenna solita tanto alla stazione

trasmettente quanto alla stazione ricevitrice è sostituita con un sistema di due cilindri verticali di lastra di zinco A ed A'. Il cilindro esterno A, il quale fa le veci dell'antenna, comunica cogli apparati, e cioè colle sfere scaricatrici, se si tratta della stazione trasmettente, o cogli apparati ricevitori, se si tratta della stazione ricevente, mentre il cilindro interno comunica col suolo.

È chiaro, che il sistema di questi due cilindri, oltre a compiere l'ufficio dell'antenna, costituisce anche un condensatore, e perciò eserciterà una funzione analoga a quella dei condensatori adoperati dal Sig. Braun. Occorre però, secondo il Sig. Marconi, affinchè la disposizione descritta raggiunga il suo scopo, che fra le oscillazioni di cui sono sede i due cilindri della stazione trasmettente vi sia una differenza di fase, perchè in caso diverso i loro effetti si distruggerebbero a vicenda: perciò tra l'oscillatore ed il cilindro isolato va inserita una autoinduzione g^3. Una disposizione analoga si trova nel ricevitore.

L'uso di due conduttori uguali connessi ai due lati dell'eccitatore è pure preconizzato, prima che nel brevetto della « Wireles Telegraph and Signal Company », in un brevetto del Sig. W. G. Brown [13]; ma vi manca l'autoinduzione, indispensabile secondo il Sig. Marconi, tra l'uno di questi conduttori e la scintilla.

Non riesce difficile, secondo il Sig. Marconi, accordare fra loro i periodi d'oscillazione dei cilindri del trasmettitore e del ricevitore, in modo che quest'ultimo risponda ad una soltanto fra diverse stazioni trasmettenti. Con cilindri di 7 metri di altezza e di m. 1,5 di diametro, dei segnali buoni furono trasmessi tra le due stazioni di Poole e St. Catherine, senza che questi segnali venissero turbati o fossero ricevuti da altre stazioni vicine, e senza che i fenomeni atmosferici producessero disturbi.

Un'altra disposizione per raggiungere la sintonia tra le stazioni trasmettitrice e ricevitrice si vede negli schemi delle figure 219 e 220. In questo sistema, la « Wireless Telegraph and Signal

Company » ha adottato due disposizioni, che abbiamo imparato a conoscere come essenziali anche nel sistema del Sig. Braun, e

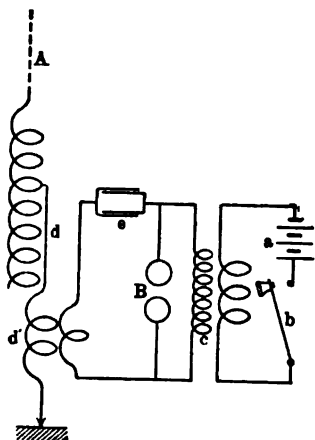
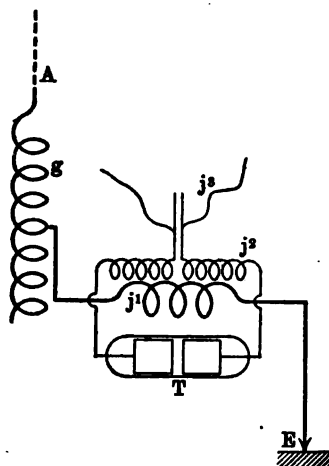



Fig. 219. Fig. 220.

cioè il condensatore *e* nel circuito dell'oscillatore ed il trasformatore *d*, con uno degli avvolgimenti inserito nel circuito dell'oscillatore e coll'altro tra l'antenna e la terra. Le oscillazioni si trasmettono dunque all'antenna per mezzo dell'induzione tra i due avvolgimenti del trasformatore. Nella stazione ricevitrice (fig. 220) il trasformatore ha conservato una di quelle forme speciali, che abbiamo viste già nei brevetti anteriori della « Wireless Telegraph and Signal Company ». Un' altra disposizione della stazione ricevitrice (fig. 221) comprende anche un condensatore *h* messo in derivazione sul coherer.

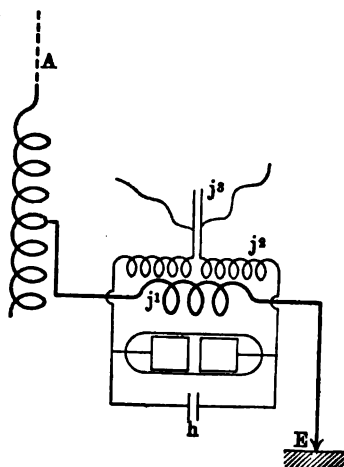



Fig. 221.

Una condizione importante per ottenere risultati buoni è quella, che le diverse parti degli apparecchi abbiano tutte il medesimo periodo d'oscillazione propria. A tale scopo l'antenna, la quale è costituita da un filo verticale A (fig. 219), si prolunga in basso con un rocchetto, ed il suo periodo d'oscillazione si

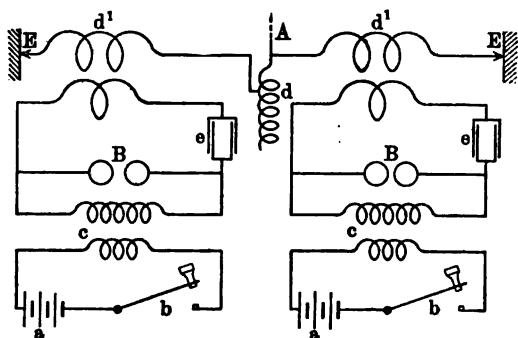



Fig. 222.

fa variare aumentando o diminuendo il numero dei giri del filo compresi tra l'antenna ed il trasformatore. Questa disposizione, la quale si trova pure nella stazione ricevitrice, e permette di

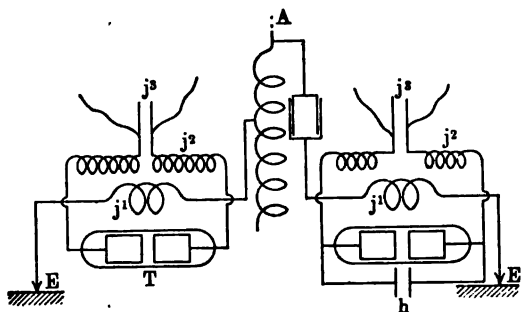



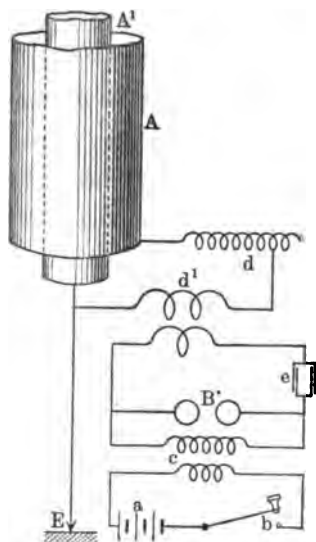
Fig. 223.

far variare entro limiti molto larghi il periodo d'oscillazione del sistema di cui fa parte, costituisce un elemento essenziale per la telegrafia simultanea fra due coppie di apparecchi, i quali, come si vede nelle figure 222 e 223, sono congiunti a punti

differenti del rocchetto o filo prolungatore. Con questa disposizione furono fatte delle esperienze dal sig. Marconi nell'autunno 1900, col risultato, che diversi dispacci poterono trasmettersi contemporaneamente mediante una sola antenna, e furono ricevuti, senza disturbarsi reciprocamente, con apparecchi congiunti ad una medesima antenna ricevitrice. D'altra parte, secondo il signor Marconi, un trasmettitore accordato per una data lunghezza d'onda, e capace di mandare dei segnali sino ad una distanza di cinquanta chilometri, non agirebbe sopra un ricevitore di periodo molto differente, neppure quando la distanza fra i due apparecchi fosse soltanto di cinquanta metri.

Infine, un altro miglioramento si ottiene, secondo il sig. Marconi, combinando col sistema innanzi descritto l'antenna costituita da due cilindri. Questa disposizione è rappresentata nella fig. 224.

Fig. 224.

Il signor Fessenden [14] ha elaborato per l'Ufficio Centrale Meteorologico degli Stati Uniti un sistema, che, per quanto se ne sa, sembra differire pochissimo da quello del Marconi. Anche il sig. Fessenden adopera infatti, invece delle antenne semplici, dei cilindri concentrici, l'interno dei quali è connesso ad una autoinduzione; ma vi è una differenza nei mezzi, che servono per diminuire lo smorzamento delle oscillazioni. La teoria mostra, che questo smorzamento dipende dal rapporto tra la resistenza e l'autoinduzione del circuito, nel quale si compiono le oscillazioni; ora, per diminuire il valore di questo rapporto, il sig. Marconi cerca di rendere l'autoinduzione più grande che sia possibile, mentre il sig. Fessenden rivolge nello stesso tempo la

sua attenzione a ridurre il numeratore della frazione, vale a dire, la resistenza del circuito. Un'altra differenza tra i due sistemi si trova nel trasformatore inserito tra l'antenna e l'apparecchio ricevitore. Mentre nel sistema della « Wireless Telegraph and Signal Company » i due avvolgimenti del trasformatore hanno la stessa lunghezza di filo, la quale è uguale pure a quella dell'antenna, nel caso che questa sia costituita da un filo metallico, il sig. Fessenden dà all'avvolgimento secondario del trasformatore, a quello cioè che comunica coll'apparecchio ricevitore, una lunghezza doppia di quella dell'avvolgimento primario.

Il sig. Fessenden dice inoltre di avere superato la difficoltà che deriva dal fatto, che la scintilla, quando la sua lunghezza cresce oltre un certo limite, perde il suo carattere oscillatorio. Con una disposizione speciale del rocchetto d'induzione, si sarebbe giunti ad emettere nelle onde una quantità di energia uguale a sedici volte quella, che si ottiene in condizioni ordinarie.

Infine l'Ufficio Meteorologico americano avrebbe sviluppato anche un sistema indipendente di telegrafia simultanea, il quale assicurerebbe la segretezza dei dispacci, ed impedirebbe il disturbo reciproco nelle comunicazioni simultanee. Mancano però completamente i ragguagli sui metodi ed apparecchi, coi quali si sarebbero realizzati i progressi indicati.

59. **Il sistema Slaby-Arco** [15]. — Il sistema ideato dal prof. Slaby del Politecnico di Charlottenburg assieme al conte

Fig. 225.

d'Arco, e sfruttato dalla « Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft » di Berlino, è basato sui fatti seguenti.

Se in un oscillatore rettilineo AD (fig. 225), costituito da due fili metallici AB, CD, muniti di palline B e C per le scintille,

si provocano oscillazioni elettriche stazionarie, la lunghezza d'onda di queste, come si è visto nel § 32, è doppia della lunghezza complessiva AD dell'oscillatore, astrazione fatta dalle oscillazioni d'ordine superiore, le cui lunghezze d'onda sono rispettivamente $^1/_3$, $^1/_5$ etc. di quella fondamentale, le quali oscillazioni hanno ampiezze minori. Alle estremità A, D dell'oscillatore si hanno due ventri, relativamente ai valori variabili del potenziale, cioè in quei punti il potenziale oscilla fra i massimi valori di segno contrario, mentre a metà dell'oscillatore esiste un nodo, cioè un punto ove il potenziale si conserva sensibilmente costante (generalmente nullo). I valori estremi del potenziale in ogni punto dell'oscillatore sono rappresentati nella fig. 225 colle ordinate delle due curve a piccoli tratti. In pari tempo si hanno in A e D dei nodi, per rispetto all'intensità della corrente oscillatoria che percorre il conduttore AD, ed in BC un ventre, e ciò è rappresentato nella figura dalle ordinate delle curve a punti e tratti. Come fu dimostrato nel citato paragrafo, nulla muta sostanzialmente sopprimendo metà dell'oscillatore, per esempio CD, e mettendo in comunicazione col suolo la sfera C; e così facendo si passa al caso d'un oscillatore con antenna ridotto alla più semplice forma.

Se ora di fronte a questo oscillatore esiste un'antenna ricevitrice uguale, ossia un filo della stessa lunghezza, parallelo al primo ed in comunicazione colla terra, le onde elettriche emanate dall'oscillatore vi provocheranno per risonanza delle oscillazioni identiche, colle massime variazioni di potenziale all'estremità superiore e col minimo all'estremità che comunica col suolo. Malgrado ciò, e benchè il coherer, come abbiamo visto nel cap. III della Seconda Parte, sia sensibile alle forze elettromotrici e non già alle intensità di corrente, si usa connetterlo all'estremità inferiore dell'antenna, dove sono massime le ultime e nulle o quasi nulle le prime. Secondo il sig. Slaby, dunque, il

modo usuale d'inserire il coherer sarebbe intrinsecamente difettoso, ed i risultati, che ciononostante si ottengono, dipenderebbero dall'estrema sensibilità di tale strumento, e dal fatto che in realtà esso non è inserito esattamente nel nodo. D'altra parte però si comprende, che in pratica non sarebbe possibile disporre il coherer coi suoi apparecchi accessori vicino alla punta dell'antenna. Ma le cose cambiano, secondo il sig. Slaby, se all'estremità inferiore C dell'antenna ricevitrice CD (fig. 226) si congiunge un altro filo CE di lunghezza uguale a CD, diretto in senso orizzontale, e perciò sottratto all'azione diretta dell'antenna AB. In questo caso le oscillazioni elettriche di CD si trasmettono anche a CE, e mentre in C rimane il nodo, si forma un nuovo ventre all'estremo E, con variazioni di potenziale altrettanto grandi che in D. Le curve della figura mettono

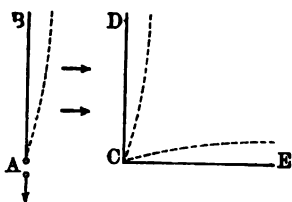
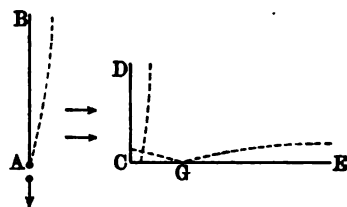



Fig. 226. Fig. 227.

in evidenza le ampiezze di oscillazione dei potenziali lungo le antenne. Il cardine del sistema Slaby consiste appunto nell'attaccare il coherer all'estremità E dell'antenna secondaria CE. Nè occorre, che questa sia realmente tesa in linea retta, e può essere costituita da un filo avvolto a rocchetto.

Se la lunghezza dell'antenna ricevitrice CD (fig. 227) è minore di quella dell'antenna trasmettente, ciò non porta danno alcuno, sempre secondo il sig. Slaby, purchè la lunghezza complessiva dell'antenna e del suo prolungamento orizzontale sia la stessa come prima, vale a dire eguale al doppio della lunghezza dell'antenna trasmettente, o se si vuole, eguale alla metà della lunghezza d'onda. Vi sono sempre dei ventri in D ed in E,

mentre il nodo, anzichè in C, si forma in un altro punto G situato a metà della lunghezza complessiva. E dato pure che l'oscillazione elettrica lungo il filo, come apparirebbe da studi più recenti dello stesso Slaby, debba seguire una legge più complicata, si hanno sempre dei ventri alle estremità libere con uno o più nodi intermedi. La comunicazione colla terra nel punto C, sebbene non porti vantaggio, non indebolisce neanche sensibilmente l'intensità del ventre nel punto E. Si possono dunque utilizzare come antenne ricevitrici per la telegrafia senza filo dei conduttori già esistenti, come dei parafulmini, anche se non hanno una lunghezza determinata. Nello stesso tempo si risolve anche, secondo il sig. Slaby, il problema della multicomunicazione. Infatti, se, p. e., coll'estremità inferiore di un parafulmine alto 40 metri si congiungono due fili orizzontali l'uno di 40, l'altro di 60 metri, oppure due rocchetti equivalenti, si formeranno per risonanza nel primo filo delle oscillazioni di 40 + 40 ossia 80 metri di semilunghezza d'onda, le quali formeranno un nodo precisamente all' estremità inferiore del parafulmine messa in comunicazione colla terra, mentre l'altro filo risponderà ad onde di due volte 40 + 60 ossia 200 metri di lunghezza, benchè per esse il punto di comunicazione colla terra non coincida esattamente col nodo. Se alle estremità di questi due rocchetti o fili orizzontali si congiungono due coherer, ciascuno potrà rispondere soltanto a onde di quel determinato periodo, conforme alla lunghezza complessiva dell' antenna e del rispettivo prolungamento. Per conseguenza, due apparecchi trasmettenti, con oscillatori accordati per quei periodi d' oscillazione, potranno mandare contemporaneamente i loro dispacci, e questi saranno registrati in una medesima stazione, ciascuno da un apparecchio ricevitore speciale, senza disturbarsi reciprocamente, e senza essere disturbati da parte di onde di periodi differenti, che fossero emanate da altri oscillatori. Durante una conferenza su questo argomento fatta il 22 dicem-

bre 1900, il sig. Slaby potè infatti, con due ricevitori connessi allo stesso parafulmine di un camino industriale, ricevere contemporaneamente, colla velocità di 72 parole al minuto primo, dei dispacci mandati da due diverse stazioni, situate l'una a 4, l'altra a 14 chm. dalla stazione ricevitrice. Fu questo il primo saggio pubblico di multicomunicazione per mezzo di onde elettriche di periodi differenti. Ma il sistema del filo prolungatore offre, secondo il sig. Slaby, oltre la possibilità della multicomunicazione, anche il mezzo di rinforzare l'azione delle onde stesse. Figuriamoci infatti (fig. 228), invece dell'antenna ricevitrice di forma solita, due fili verticali CD e GH vicinissimi, muniti entrambi dei loro prolungamenti orizzontali CE e GF. I due fili subiranno da

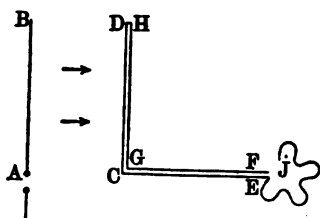
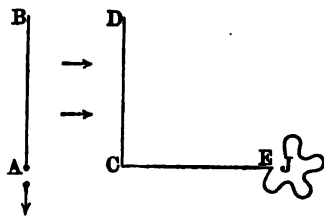



Fig. 228. Fig. 229.

parte dell'oscillatore la stessa influenza, e perciò le estremità F ed E si troveranno in ogni istante in condizioni identiche, sì che avvicinando E ed F fra di loro non si avrà nessuna traccia di scintille. Se però all'estremità E si connette un altro filo EJ disposto in un modo qualunque e di lunghezza uguale a mezza lunghezza d'onda, l'estremità J di questo e l'estremità F dell'altro si troveranno sempre in opposte fasi di vibrazione ; la forza elettromotrice tra F ed J sarà per conseguenza doppia di quella che si aveva tra F oppure E e la terra, ed un coherer inserito tra J ed F subirà una azione doppiamente intensa. Inoltre, con questa disposizione diventa superflua ogni comunicazione colla terra, con che il coherer risente meno l'influenza disturbatrice delle cariche elettriche che si trovano nell'atmosfera. E la

disposizione stessa, secondo quanto osservò il conte Arco, può semplificarsi ancora, giacchè il filo DCE può evidentemente fare la parte del filo HGF rispetto ad EJ, e quindi il filo HGF può essere soppresso, con che si arriva alla disposizione della fig. 229. Con questa disposizione il conte Arco ha ricevuto dei dispacci, senza che nessun punto dell'apparecchio fosse in comunicazione colla terra. Con ciò, secondo il sig. Slaby, rimane confutata anche l'idea generale della necessità di una comunicazione col suolo dell'apparecchio ricevitore.

Infine, il sig. Slaby, avendo un giorno avvolto a rocchetto il filo EI per poter maneggiarlo più comodamente, ne constatò uno straordinario aumento della forza elettromotrice che agiva sul coherer. Si tratterebbe, secondo il sig. Slaby, di un effetto nuovo, mentre altri non vedono in quel rocchetto a cui il sig. Slaby dà il nome di *moltiplicatore,* che un apparecchio analogo ai cosidetti autotrasformatori o trasformatori ad un solo circuito, che da qualche anno già si conoscono. In realtà, come il sig. Slaby stesso più tardi riconobbe, il suo moltiplicatore era già stato adoperato in Francia dal sig. Oudin per scopi terapeutici. Comunque sia, il moltiplicatore, l'azione del quale dipende dalla forma dell'avvolgimento, non solo fa aumentare l'effetto sul coherer e con esso la portata e la sicurezza delle trasmissioni, ma si oppone anche all'effetto di onde di lunghezza differente da quella per la quale è accordato, e per ciò contribuisce efficacemente a far ottenere la sintonia tra il ricevitore e l'apparecchio trasmettente.

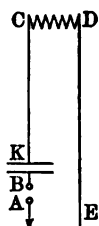



Fig. 230.

Occorre, ben inteso, che anche quest'ultimo emetta delle onde di frequenza ben determinata. La prima disposizione adoperata per questo scopo dal sig. Slaby si vede nella fig. 230. L'estremità superiore C dell'antenna è connessa, attraverso un rocchetto di forte autoinduzione CD, con un altro filo verticale DE che conduce al suolo, mentre fra l'estremità inferiore del-

l'antenna e l'intervallo AB per le scintille è inserito un condensatore K, avente il doppio ufficio di aumentare la quantità di elettricità disponibile per ogni scarica come pure il periodo delle oscillazioni, il quale senza di esso dipenderebbe essenzialmente dall'altezza dell'antenna, che in generale deve tenersi entro limiti ristretti. Nella carica del condensatore l'una delle armature trova la necessaria comunicazione colla terra attraverso il rocchetto CD, il quale d'altra parte oppone una efficace ostruzione alle rapide oscillazioni, che nascono per effetto della scarica, tantochè le onde emanano, secondo il sig. Slaby, esclusivamente dal filo CK, ed il loro periodo è determinato soltanto dalla lunghezza di questo e dalla capacità del condensatore.

Tuttavia, nelle disposizioni più recenti fu abbandonato il doppio filo aereo, e si tornò a quello semplice. Una di queste disposizioni è quella della figura 231. L'antenna comunica direttamente colla terra, in vicinanza della quale essa presenta un cappio, che conduce ad una delle sfere dell'oscillatore F, mentre l'altra è messa a terra attraverso un condensatore C e ad un rocchetto di autoinduzione S. Nel caso più semplice l'antenna diventa la sede di onde, la cui lunghezza è quadrupla di quella dell'antenna. Volendo ottenere delle oscillazioni più lente ossia delle lunghezze d'onda maggiori, si inserisce tra l'antenna e la terra una autoinduzione Z, colla quale si aumenta appunto il periodo e la lunghezza d'onda. Senonchè, in questo caso, se si vuole ottenere il massimo dell'effetto, anche le oscillazioni che nascono nell'altra parte del circuito, e cioè tra la seconda sfera dell'oscillatore e la terra, debbono essere accordate allo stesso periodo

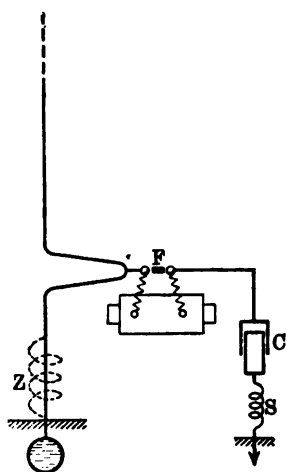



Fig. 231.

delle altre. Ciò si ottiene modificando opportunamente la capacità del condensatore C oppure l'autoinduzione del rocchetto S, alle quali si possono dare valori diversi, segnati sugli apparecchi, variando semplicemente la distanza tra le armature dell'uno, oppure il numero o la distanza dei giri dell'altro.

La fig. 232 rappresenta il condensatore, composto da un certo numero di bolliglie di Leyda circondate esternamente da

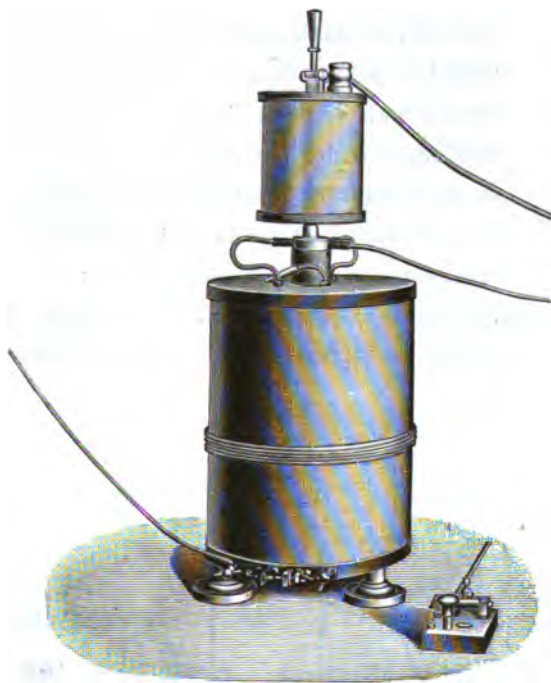



Fig. 232.

un involucro di stagnola. Sopra il condensatore si trova l'oscillatore, disposto colle sfere l'una sopra l'altra, e circondato da un involucro isolante per attutire il rumore delle scintille.

Ultimamente la « Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft » ha adottato, a quanto pare, la disposizione rappresentata schematicamente nella fig. 233, la quale comprende due condensatori disposti simmetricamente ai due lati della scintilla e congiunti

mediante una autoinduzione. Da un punto di questo circuito parte l'antenna, mentre un altro punto, simmetrico a quello, comunica colla terra. Come si vede, questa disposizione in sostanza è identica a quella introdotta già prima dal Sig. Braun.

In un'altra disposizione, l'oscillatore, anzichè tra il condensatore C e l'antenna (fig. 231), è inserito tra l'autoinduzione S e la terra. Infine, nelle navi da guerra, sulle quali è difficile far giungere un filo, che riceva potenziali elevati, dagli apparecchi collocati in luogo protetto sino all'antenna, la « Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft » adopera la disposizione della fig. 234. Nell'interno del bastimento si trova, assieme ad un condensatore K ed una autoinduzione S_1, variabili entrambi a volontà, l'oscillatore F_1, il quale funziona a potenziali poco elevati. Il filo isolato con guttaperca, mediante il quale l'oscillatore è messo in comunicazione col rocchetto moltiplicatore F_2, posto sul ponte del basti-

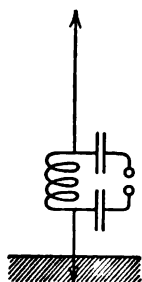
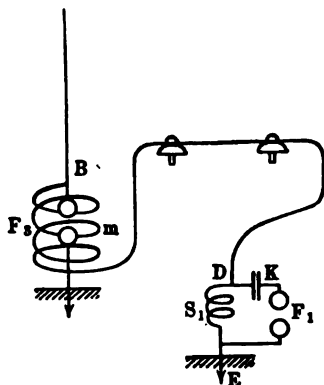



Fig. 233.

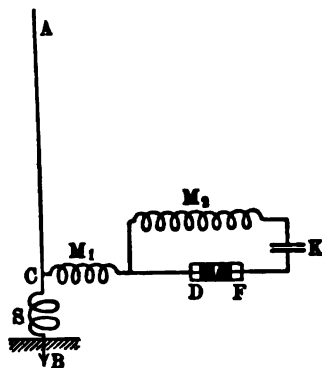



Fig. 234.

Fig. 235.

mento, si può quindi disporre a guisa delle solite condutture elettriche. Entro il moltiplicatore F_2 si trovano due sfere, che comunicano l'una colla terra, l'altra coll'antenna. L'effetto di questo moltiplicatore è tale che, a quanto si asserisce, tra queste

ultime sfere scoccano delle scintille di 15 od anche di 20 cm. di lunghezza, mentre tra le sfere dell'oscillatore F_1 la distanza esplosiva è solo di altrettanti millimetri.

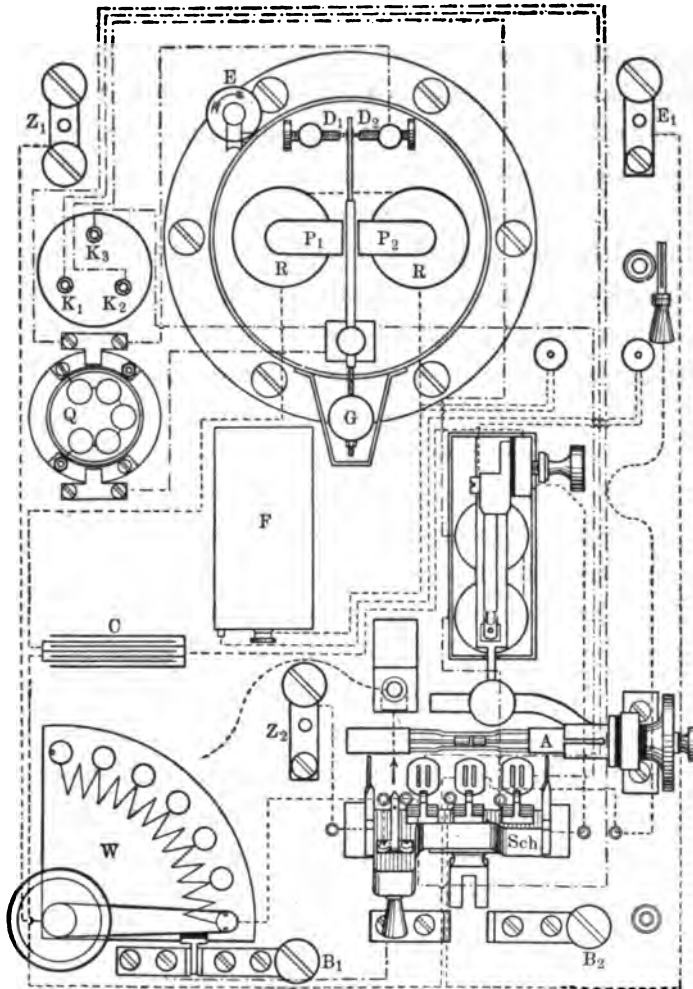



Fig. 236.

L'apparecchio ricevitore può essere disposto in modo simile al trasmettitore. Nella fig. 235 si vede una delle disposizioni

adottate dalla « Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft », la quale non differisce essenzialmente da quella della fig. 234, se in questa all'oscillatore F_1 si suppone sostituito il coherer. Quest'ultimo poi, come ben s'intende, è inserito nel circuito di una pila debole e di un soccorritore, il quale, nel modo più volte descritto, mette in azione i circuiti del martellino e del ricevitore telegrafico. L'assieme dei diversi organi di una stazione ricevitrice si vede nella fig. 236. A è il coherer, girevole attorno al proprio asse per variarne la sensibilità; F è una pila secca, nel circuito della quale sono inseriti il coherer e l'elettrocalamita del soccorritore RR. Per accogliere le correnti d'autoinduzione, che potrebbero agire sul coherer quando s'interrompe il circuito del soccorritore, i capi di questo comunicano colle armature di un condensatore C formato con fogli di stagnola separati da lamine di mica. La resistenza del coherer si ristabilisce per opera di un martellino, mentre una resistenza variabile W ha l'ufficio di diminuire gli effetti sul coherer, quando si ricevono dei dispacci da distanze piccole. Il soccorritore mette in azione, oltre al martellino, un campanello di chiamata ed un ricevitore Morse; questi ultimi non sono indicati nella figura, e così si dica della batteria di quattro pile secche, la quale fornisce la corrente a questi apparecchi. La batteria, quando non lavora, è chiusa attraverso una serie di resistenze polarizzabili Q, le quali, mentre impediscono un inutile indebolimento della batteria, sono pure disposte in maniera da accogliere le correnti d'auto-induzione dovute all'interruzione dei circuiti attivati dal soccorritore, e da impedire la produzione di scintille nei contatti del soccorritore stesso.

60. **Considerazioni finali.** — Dalla descrizione che abbiamo data dei tre sistemi di telegrafia sintonica, che soli hanno trovato un'applicazione più o meno estesa, e cioè dei sistemi Braun, Marconi, e Slaby-Arco, si è potuto riconoscere, che questi sistemi si somigliano sotto vari aspetti, ed hanno taluni punti

comuni. Ciò non deve sorprendere, se si pensa, che tutti questi sistemi sono il risultato di una applicazione logica, ai metodi della telegrafia semplice creata da Marconi, delle leggi alle quali sottostanno le oscillazioni elettriche. Ne viene senz'altro che questi sistemi, per quanto differenti nei dettagli, e benchè ciascuno di essi possa aver i suoi pregi e difetti particolari, si avvicinano tutti pressochè in egual grado alla soluzione del problema della sintonia, il quale certamente non è risolto completamente da nessuno di essi, nè forse potrà esserlo mai in modo idealmente perfetto.

Più difficile diventa il pronunciarsi sul grado di originalità dei diversi sistemi, sorti a così poca distanza di tempo l'uno dall'altro. È a ritenersi che ciascuno di essi, appunto perchè tutti basati sulle stesse leggi scientifiche, sia stato creato dal suo autore senza cognizione del lavoro simultaneo dei suoi competitori, tanto più che le descrizioni dei brevetti generalmente non vedono la luce che molto tempo dopo, che i brevetti stessi furono chiesti.

Se, tenuto conto di queste considerazioni, abbiamo dato la precedenza al sistema del sig. Braun, ciò fu, non solo perchè nelle sue pubblicazioni egli è stato il primo a porre le basi scientifiche della telegrafia sintonica, ma anche perchè le sue esperienze ebbero principio nell'estate del 1898, ed i punti fondamentali del suo sistema furono descritti nel brevetto tedesco chiesto il 14 ottobre 1898, nella quale epoca nè il sig. Slaby, nè, come vedremo meglio in seguito, il sig. Marconi, avevano sviluppato i loro ultimi sistemi tendenti a realizzare la sintonia. Però, qualche tempo prima del sig. Braun, il sig. Tietz [8], nel corso di certi studi sul problema della sintonia nella telegrafia senza filo, aveva già fatto rilevare il vantaggio che si doveva ottenere disponendo un condensatore in parallelo coll'intervallo, nel quale scoccano le scintille. Questa disposizione, secondo lui, si era mostrata particolarmente efficace, e l'effetto ottenuto poteva ancora essere aumentato notevolmente « mediante l'im-

piego di quantità maggiori di energia, quali si ottengono facilmente coll'uso di trasformatori a correnti alternate unitamente a condensatori ». D'altra parte il sistema di telegrafia sintonica dei signori Lodge e Muirhead, del quale si è già parlato, comprende pure, come risulta dalla descrizione del relativo brevetto che data dal 1897, e dalle figure annesse (v. fig. 197, p. 401), l'uso di condensatori. Gli stessi inventori però non sembrano aver dato una grande importanza a questo particolare, tanto più che i condensatori non servivano in quel loro sistema che a caricare l'oscillatore propriamente detto attraverso due scintille ausiliarie, e perciò non potevano avere influenza sulla lunghezza delle onde emesse. Ma, comunque sia, il sistema dei signori Lodge e Muirhead, a quanto si sa, non fu mai sottoposto a prove pratiche: e neppure le esperienze del sig. Tietz, dopo la pubblicazione citata, furono continuate al punto da dare dei risultati pratici. Cosicchè al sig. Braun spetta il merito, se non di avere per primo preconizzato l'uso dei condensatori, almeno di avere realizzato tutto il vantaggio, che da essi poteva derivare la telegrafia senza filo.

Un'altra parte importante del sistema del sig. Braun, come già abbiamo detto, consiste nell'inserzione di un trasformatore tra l'antenna e l'apparecchio produttore e ricevitore delle onde. Neppure questa disposizione poteva dirsi nuova all'epoca nella quale essa fu utilizzata dal sig. Braun, giacchè in sostanza essa non differisce dal « jigger », per il quale il sig. Marconi e la « Wireless Telegraph and Signal Company » chiesero un brevetto inglese sin dal 1.° giugno 1898. Ma il « jigger », a quell'epoca e secondo la descrizione di quel brevetto, appariva destinato unicamente a far parte del ricevitore. Il sig. Marconi, è vero, in una conferenza, che egli fece il 15 maggio 1901 davanti alla « Society of Arts » di Londra [16], reclama interamente per sè la priorità della telegrafia sintonica, perchè nella descrizione di quel brevetto è detto « essere desiderabile che il rocchetto d'induzione

(vale a dire il «jigger») sia in sintonia colle oscillazioni elettriche trasmesse ». Ma non è detto niente sui mezzi, coi quali si otterrebbe quella sintonia, per la quale la scelta della lunghezza dell'antenna trasmettitrice, come abbiamo visto, non si presta che in modo assai imperfetto, mentre l'importanza di questa parte del sistema del sig. Braun sta, non tanto nel ricevitore, quanto nel trasmettitore, e precisamente nella eccitazione induttiva, la quale di fronte all'eccitazione diretta offre quei vantaggi, di cui già parlammo. Anche questa parte del sistema del sig. Braun si trova nel brevetto tedesco, che egli chiese il 14 ottobre 1898, mentre il sig. Marconi fece un passo decisivo verso la sintonia soltanto colle disposizioni, per le quali egli e la «Wireless Telegraph and Signal Company» chiesero i brevetti inglesi nel 1900. E fu alla fine del settembre di quell'anno che il prof. Fleming, in una lettera diretta al «Times», disse di avere assistito alle esperienze di telegrafia multipla tra Poole e St. Catherine, di cui abbiamo parlato.

Possiamo essere più brevi in merito al sistema Slaby. La disposizione rappresentata nella fig. 229 fu brevettata il 3 novembre 1899. Ma le esperienze, che formano la base del suo sistema, furono da esso fatte nell'estate del 1900, e i brevetti relativi furono presi dalla «Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft» nell'autunno successivo, e perciò sono posteriori a quelli del sig. Marconi e della «Wireles Telegraph and Signal Company». Con tutto ciò è a credersi, che il sig. Slaby non abbia potuto avere cognizione, allorchè fece le sue esperienze, dei progressi realizzati nello stesso campo dal Braun e dal Marconi, perchè, come si è detto, tali progressi per lo più non divengono noti che colla pubblicazione dei brevetti, la quale avviene con grande ritardo. Appare infatti da una conferenza sulla telegrafia sintonica e multipla fatta dallo Slaby il 22 dicembre 1900, che allora egli aveva cognizione soltanto dell'annunzio dato dal prof. Fleming. E fu in quella conferenza, che il prof. Slaby

fece la prima dimostrazione pubblica di una telegrafia simultanea ed indipendente tra due stazioni trasmettenti ed una medesima stazione ricevitrice, descrivendo in modo particolareggiato i mezzi, coi quali si otteneva questo risultato. Al sig. Slaby, peraltro, spetta la priorità riguardo ai mezzi particolari, coi quali egli ottenne questo risultato, vale a dire riguardo all' uso del filo prolungatore, il quale offre appunto la possibilità di differenziare fra di loro diversi apparecchi ricevitori, pur congiungendoli tutti ad una medesima antenna, per la quale può servire, come si disse, l' asta di un parafulmine, oppure qualunque altro conduttore verticale. Una parte originale del sistema Slaby, il quale ha recentemente pubblicato anche delle ricerche teoriche sulla telegrafia senza filo [15], è l' uso del cosidetto moltiplicatore destinato a rinforzare l' azione sul coherer.

Tanto per la questione della priorità. Ci rimane a parlare di un' altra questione ben più importante dal punto di vista pratico, vale a dire dei limiti entro i quali rimane, almeno per ora, racchiuso il campo della telegrafia senza filo, e delle probabilità di un ulteriore sviluppo di essa per l' avvenire. Sarebbe temerario certamente il voler prescrivere dei limiti ai progressi, che la telegrafia per onde elettriche può ricavare da invenzioni future; ma lo è altrettanto l'immaginare fin d' ora le possibilità dell'avvenire. Abbiamo detto, che il problema della sintonia è ben lungi dall' essere risolto completamente. Esso lo sarebbe, se esistesse un ricevitore sensibile solo per le onde di un determinato periodo, ed incapace di reagire alle onde di un altro periodo, per quanto poco differente da quello che gli è proprio. Il risonatore perfetto non esiste per le vibrazioni acustiche, e non lo si è trovato, malgrado le asserzioni ottimiste che ogni tanto si fanno strada nella stampa, neppure per le oscillazioni elettriche. Non si è più, è vero, nelle condizioni dei primi impianti di telegrafia senza filo, forniti di un coherer, il quale doveva reagire a qualunque impulso periodico o non periodico che fosse; ma non è neanche

probabile, che si possa dividere la scala delle lunghezze d'onda utilizzabili per la telegrafia senza filo in un numero molto superiore ad una diecina d'intervalli tali, che un risonatore, che sia sensibile alle lunghezze d'onda comprese in uno di tali intervalli, risulti insensibile a quelle comprese negli altri. Ne viene, che, col moltiplicarsi del numero delle stazioni per la telegrafia senza filo, diverrà inevitabile, che i dispacci possano essere raccolti, se non da tutte, almeno da una grande parte delle stazioni situate entro un determinato raggio intorno alla stazione trasmettente, e non già, come lo vorrebbe la soluzione perfetta del problema della sintonia, da un solo apparecchio ricevitore. Ed il male naturalmente andrà ingrossando colla distanza, alla quale si vorranno far pervenire i dispacci. Fu già accennato, nella fine della Seconda Parte, alla notizia, secondo la quale il sig. Marconi avrebbe ricevuto in una stazione eretta a St. John, Newfoundland, dei segnali trasmessi col suo sistema dalla stazione di Poldhu, situata nel Cornwall, dall'altro lato dell'Atlantico. Possiamo dispensarci dall'entrare nella discussione che si è fatta, intorno all'attendibilità di quella notizia, poichè, anche se i segnali ricevuti durante le esperienze a St. John non fossero provenuti dall'altro lato dell'Atlantico, non vi sarebbe motivo per mettere in dubbio la possibilità di una trasmissione a simili distanze. Infatti, dopo che si è riconosciuto che la curvatura della superficie terrestre, sia per le riflessioni successive, sia per diffrazione, non impedisce le comunicazioni, il raggiungere distanze grandissime di trasmissione si riduce ad una quistione di potenza per gli apparecchi trasmettenti e di sensibilità per quelli ricevitori. Ma non per questo coll' esito felice di una esperienza di questo genere, il problema della telegrafia senza filo attraverso l'Atlantico potrebbe dirsi risolto. L'inconveniente del disturbo reciproco tra le varie stazioni si farà sentire in grado ognora crescente, quando la telegrafia senza filo, per chiamare a sè una parte soltanto del lavoro che attualmente si compie mediante i cavi sottomarini, sarà

costretta di creare ai due lati dell' Atlantico un certo numero di stazioni non molto distanti l' una dall' altra; ed il disturbo lo subiranno soprattutto le navi che solcano l' oceano, e per le quali la telegrafia senza filo al giorno d' oggi è diventata di una grande importanza, se non una necessità assoluta. Cosicchè è a temersi, che volendo colla telegrafia senza filo far concorrenza ai cavi sottomarini, si finisca col danneggiare quello che, almeno per ora, è il vero suo campo d' azione.

Vi è poi la grave quistione del segreto delle comunicazioni. Ammesso anche che i dispacci mandati per mezzo di onde di un determinato periodo non potessero essere ricevuti che con apparecchi accordati esattamente per il periodo stesso, sarebbe sempre possibile costruire un ricevitore avente un periodo d' oscillazione regolabile a volontà almeno entro certi limiti; con questo mezzo si arriverebbe sempre, dopo qualche tentativo, a dare al ricevitore la frequenza richiesta per raccogliere i dispacci emanati da una determinata stazione. In realtà però, non occorre neppure un artifizio di questo genere, giacchè un ricevitore qualunque dotato di sufficiente sensibilità reagisce a tutte le onde, il cui periodo non sia troppo differente dal suo proprio; ed abbiamo visto infatti, che la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » costruisce un ricevitore destinato in modo speciale ad intercettare dispacci. E se, per conservare il segreto di questi ultimi, vi è ancora l' espediente del linguaggio convenzionale, non c' è, d' altra parte, nessuna garanzia possibile, contro chi volesse portare disturbo alle comunicazioni mandando ad un apparecchio ricevitore, mentre gli giungono i dispacci che gli sono destinati, dei segnali irregolari ed intesi unicamente a rendere indecifrabili i dispacci stessi. Aggiungiamo infine, che i ricevitori della telegrafia senza filo sono spesso influenzati anche dalle scariche elettriche dell' atmosfera, e che i disturbi che ne derivano dovranno, naturalmente, farsi sentire tanto più spesso, quanto più gli apparecchi ricevitori saranno sensibili.

Gli stessi inconvenienti si presenterebbero, qualora si volessero applicare le onde elettriche alla trasmissione di quantità notevoli di energia, oppure alla manovra a distanza di diversi meccanismi. Essendo le onde elettriche una forma di energia trasportata da luogo a luogo, nulla si oppone in teoria alla trasmissione attraverso lo spazio, col mezzo di esse, di quantità anche notevoli di energia. D'altra parte, se le onde elettriche, modificando la conduttività di un tubo a limatura, possono attivare a distanza un soccorritore telegrafico, lo stesso dovrebbe essere possibile per un meccanismo qualunque. Ed infatti si attribuisce al Sig. Tesla, diventato celebre per le splendide sue esperienze nel campo delle correnti alternate ad alta frequenza, il progetto di un trasporto di forza effettuato senza filo, mentre diversi inventori, fra i quali Orling e Braunerhjelm, Jameson e Trotter e lo stesso Tesla, hanno ideato ed in parte hanno anche costruito degli apparecchi mossi a distanza per mezzo delle onde elettriche. Si è persino visto funzionare il modello di un battello sottomarino guidato dalle onde elettriche, le quali, emesse da una stazione stabilita sulla costa, chiudono od interrompono il circuito di motori elettrici impiantati, assieme ad una batteria di accumulatori, nell'interno del battello, e mediante l'elica ed il timone comandati da questi motori fanno andare il battello nella direzione voluta. Senonchè il Sig. Tesla, nel suo nuovo sistema di trasporto della energia, non sembra essersi preoccupato della possibilità delle sottrazioni di questa; nè gli inventori di battelli sottomarini, destinati a far saltare le corazzate nemiche, ci dicono, in quale maniera essi intendono impedire, che dalla corazzata attaccata si mandino delle onde per turbare l'andamento del delicato meccanismo nascosto nell'interno del sottomarino.

Non ci sembra il caso di insistere maggiormente sulla fallacia di questi e simili progetti; torniamo invece, per un momento ancora, alla telegrafia senza filo propriamente detta. Si è voluto dire, che l'invenzione del Marconi è venuta a liberarci dal

vincolo del filo conduttore, nella trasmissione elettrica dei dispacci, e che essa non tarderà a farlo sparire. Ma ci vuole poco a convincersi, che l'avvenire, almeno prossimo, della telegrafia senza filo non sta nella concorrenza coi metodi provati della telegrafia antica. Portiamoci indietro, infatti, all'epoca nella quale, colle invenzioni di Gauss e Weber, di Steinheil e di Morse era cominciato lo sviluppo della telegrafia con filo. Figuriamoci che invece di quelle invenzioni, si fosse annunciata quella del Marconi, e che il mondo, ignaro dei metodi di trasmissione per mezzo di fili, e giovandosi solo del mezzo che il Marconi avrebbe messo a sua disposizione, avesse sopportato di buon grado gli inconvenienti dei disturbi reciproci e della necessità dei segnali convenzionali, e infine che oggi soltanto un altro Morse venisse ad insegnarci la telegrafia con filo. È probabile, che il vincolo del filo sarebbe oggi salutato come un progresso. Questa semplice considerazione, ci pare, dovrebbe bastare per convincere, che il còmpito della telegrafia nuova non sta nella concorrenza colla vecchia, ma nel prezioso aiuto che essa può prestare nei casi numerosi, nei quali è impossibile congiungere mediante un filo i luoghi, che si vogliono mettere in reciproca pomunicazione.

B. Dessau.

Bibliografia e brevetti.

[1]) Tommasi. Comptes Rendus, t. 130, p. 1307, 1900.

[2]) Jégou. Comptes Rendus, t. 131, p. 882, 1900.

[3]) Blondel. Comptes Rendus, t. 130, p. 1383, 1900.

[4]) Cole e Cohen. Brev. ingl. n. 5543 del 14 marzo 1899.

[5]) Walter. Brev. amer. n. 643018 del 6 febbraio 1900.

[6]) Bull. Brev. ingl. n. 11824 del 29 giugno 1900; Elektrotechn. Ztschr., t. 22, p. 109, 1901.

[7]) Lodge e Muirhead. Brev. ingl. n. 18644 dell'11 agosto 1897 e n. 11575 del 5 febbraio 1898.

[8]) Tietz. Elektrotechn, Ztschr., t. 19, p. 562, 1898.

[9]) Braun. Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft, Lipsia, 1901. Le basi scientifiche del suo sistema furono pure descritte dall'A. in varie

note inserite nell' annata 1901 della Elektrotechn. Zeitschr. e nella Physikal. Zeitschr. I brevetti germanici della « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie », la quale sfrutta le invenzioni del Braun assieme a certe innovazioni introdotte da altri, sono i seguenti: n. 111578 del 13 ottobre 1898; n. 109378 del 25 gennaio 1899; n. 114072 del 21 settembre 1899; n. 121959 del 27 settembre 1899; n. 117489 del 4 gennaio 1900; n. 131305 del 19 giugno 1900; n. 131141 del gennaio 1901; n. 131298 del 23 gennaio 1901.

[10]) Slaby. Elektrotechn. Zeitschr., t. 23, p. 165, 1902.

[11]) Braun. Drudes Ann., t. 8, p. 210, 1902.

[12]) I brevetti inglesi di Marconi e della « Wireless Telegraph and Signal Company », relativi alle disposizioni per la telegrafia sintonica, sono i seguenti: n. 5387 del 21 marzo 1900 e n. 7777 del 26 aprile 1900.

[13]) Brown. Brev. ingl. n. 14449 del 13 luglio 1899.

[14]) Fessenden. Electrical World and Engineer, 29 giugno 1901.

[15]) Le basi scientifiche del sistema Slaby-Arco furono esposte da Slaby in varie conferenze, riunite in un suo libro; Die Funken telegraphie, 2.ª ed., Berlino, 1901. I brevetti germanici della « Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft », relativi alla telegrafia senza filo sono i seguenti: n. 113285 del 25 aprile 1899; n. 116071 del 9 febbraio 1900; n. 124645 del 9 febbraio 1900; n. 116113 del 24 marzo 1900; n. 129892 del 16 ottobre 1900; n. 130723 del 17 ottobre 1900; n. 127730 del 10 novembre 1900; n. 131584 del 10 novembre 1900; n. 131586 del 10 novembre 1900; n. 130122 del 13 dicembre 1900; n. 131585 del 7 febbraio 1901; n. 126273 del 28 febbraio 1901; n. 128102 del 28 marzo 1901; n. 129017 del 19 aprile 1901; n. 132108 del 26 aprile 1901; n. 132109 del 12 luglio 1901. Furono pure presentate le domande per diversi altri brevetti.

[16]) Marconi. The Electrician 24 e 31 maggio 1901.

PARTE QUARTA

TELEGRAFIA SENZA FILO
MEDIANTE LE RADIAZIONI LUMINOSE O LE ULTRAVIOLETTE

CAPITOLO I

Telegrafia senza filo mediante le radiazioni ultraviolette.

61. **I fenomeni fotoelettrici.** — Nel corso delle sue celebri esperienze sulle onde elettriche, delle quali si è particolarmente trattato nel § 30, Hertz [1] scoperse un fenomeno assai singolare, del quale il prof. Zickler ha tratto partito per un nuovo sistema di telegrafia senza filo.

Come si disse nel § 19, acciocchè si formi una scintilla elettrica fra due conduttori separati da un dielettrico, è necessario che essi siano portati a potenziali differenti, e che la differenza di questi potenziali raggiunga un determinato valore, dipendente dalla distanza fra i conduttori, dalla loro natura, da quella del dielettrico etc., che brevemente si chiama potenziale di scarica. Orbene, Hertz s'accorse, che il potenziale di scarica sembrava diminuire, quando a qualche distanza dei due conduttori si faceva scoccare un'altra scintilla, di guisa che, se nell'istante in cui si produceva questa scintilla, che può dirsi *attiva*, la differenza di potenziale fra i due conduttori della scintilla principale o *passiva* era un po' inferiore al valore normale, questa tuttavia si formava.

Variando le condizioni dell'esperienza, Hertz potè prontamente persuadersi, che il fenomeno non era dovuto a forze

elettriche o magnetiche provenienti dalla scintilla attiva, ma semplicemente alle radiazioni da essa emesse. Bastava infatti intercettare tali radiazioni mediante uno schermo appropriato, disposto in guisa, che la scintilla passiva, per così dire, non potesse *vedere* la scintilla attiva, perchè il fenomeno cessasse di prodursi.

L'esperienza può eseguirsi colla disposizione sperimentale della fig. 237. Due rocchetti d'induzione R_1 R_2 sono messi in azione da un'unica pila, la cui corrente si biforca nei loro circuiti induttori, e da un unico interruttore, di modo che possono ottenersi simultaneamente le due scintille S_1, S_2, fra le estremità dei loro circuiti indotti. Una delle scintille, per esempio S_1, si adopera come scintilla attiva, e si dà ad essa la massima lunghezza; mentre si regola la grandezza dell'altra S_2, indebolendo opportunamente, con l'aggiunta d'una resistenza, l'intensità della corrente induttrice nel rocchetto R_2. È bene che la scintilla passiva S_2 si formi fra due sfere metalliche, la cui distanza sia minore del loro diametro.

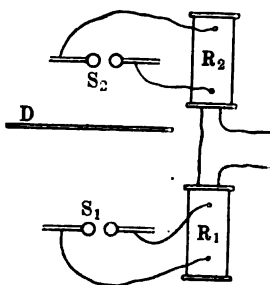



Fig. 327.

Collocato un diaframma D fra le due scintille si allontanano le palline, fra le quali si produce la scintilla passiva S_2, sinchè essa cessi di prodursi. Basta allora togliere il diaframma, perchè la scintilla S_2 ricompaia, per scomparire ogni volta che il diaframma è rimesso a posto.

Che si tratti veramente di una radiazione emanata dalla scintilla attiva S_1 risulta dal fatto, che per far sparire la scintilla S_2 basta un diaframma di tal forma e dimensione ed in tal modo collocato, che non sia possibile condurre una retta da S_2 ad S_1 senza attraversarlo.

Ma le radiazioni attive non sono quelle stesse, che eccitano nell'occhio nostro la sensazione luminosa. Infatti il diaframma D le intercetta, e cioè la scintilla S_2 sparisce, anche se esso con-

siste in una sottile e limpidissima lastra di vetro o di mica: mentre una lastra anche grossa e non molto trasparente di selenite, o meglio ancora una di quarzo, non impediscono l'azione della scintilla attiva S_1 sulla scintilla passiva S_2. Verosimilmente si trattava dunque delle radiazioni ultraviolette, le quali appunto passano bene attraverso il quarzo od il gesso, e sono abbondantemente assorbite dal vetro e dalla mica.

Se le radiazioni emesse da una lampada elettrica ad arco si analizzano col prisma, facendole passare attraverso tale istrumento, che supporremo essere fatto di quarzo, si ottiene uno *spettro*, cioè una imagine allungata, lungo la quale sono distribuite le radiazioni delle diverse lunghezze d'onda, costituenti col loro complesso la radiazione emessa dalla lampada. Di tutte queste radiazioni semplici alcune sono visibili, cioè capaci di eccitare la sensazione di luce nell'occhio nostro. Esse eccitano sensazioni diverse per colore, a seconda della loro lunghezza d'onda, e quindi a seconda del posto che occupano nello spettro. Quelle, che sono deviate dal prisma meno delle altre, danno la senzazione del rosso, mentre le più deviate producono la sensazione del violetto; perciò il rosso ed il violetto sono agli astremi della parte di spettro a noi visibile. Ma esistono raggi meno deviati dei raggi rossi e raggi deviati più dei violetti, che non eccitano la sensazione visiva, almeno nelle circostanze ordinarie: i primi diconsi raggi *ultrarossi*, gli altri *ultravioletti*, e questi ultimi sono quelli, che principalmente producono il fenomeno scoperto da Hertz.

Hertz modificò la sua esperienza sostituendo appunto alla scintilla attiva uua lampada elettrica, od anche una lampada a combustione di magnesio. Queste due sorgenti emettono infatti alquante radiazioni ultraviolette. L'esperienza si può allora semplificare, disponendola nel modo seguente.

Due conduttori A, B, biforcati (fig. 238) e comunicanti coi conduttori d'una macchina elettrica in azione, o colle estremità

del filo indotto di un rocchetto, portano quattro palline metalliche C, D, E, F affacciate due a due, di guisa che si produca la scarica fra i conduttori o in CD o in EF. Se dapprima la scintilla ha luogo in CD e poi si allontanano l'una dall'altra le sfere C, D, oppure si avvicinano reciprocamente le sfere E, F, finchè cessino di prodursi le scintille in CD, e si formino invece in EF, basta illuminare CD coi raggi della lampada elettrica o del magnesio, perchè le scintille tornino a prodursi in CD.

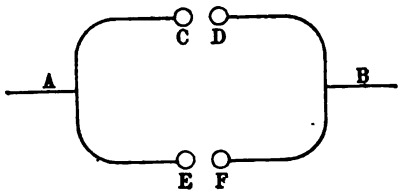



Fig. 238.

La disposizione sperimentale ora descritta si presta anche a qualche valutazione. Infatti, si può cominciare col rendere tali le distanze CD, EF, che le scintille si formino indifferentemente e senza preferenza ora in CD ora in EF, quando non agiscono le radiazioni. Perchè la stessa indifferenza sussista, quando le radiazioni agiscono sulla scintilla CD (e non sulla EF), occorre diminuire alquanto l'intervallo EF. E siccome è nota la differenza di potenziale occorrente per una scintilla EF di data lunghezza, così si arriva a conoscere di quanto le radiazioni diminuiscono il potenziale di scarica della scintilla CD.

Il fenomeno di Hertz diventa più pronunciato, quando si diminuisce la pressione del gas, in cui si forma la scintilla. Perciò, se gli elettrodi C e D sono posti entro un recipiente chiuso contenente aria o altro gas più o meno rarefatto, la diminuzione del potenziale di scarica dovuta alle radiazioni cresce colla rarefazione, sinchè alle scintille non viene a sostituirsi altra forma di scarica. Occorre però, che le pareti del recipiente non sieno tali da assorbire le radiazioni più attive nel fenomeno. Il vetro non potrà dunque essere in generale adoperato, od almeno occorrerà, che una porzione della parete, attraverso la quale si

faranno entrare le radiazioni, sia costituita da una lastra di selenite e di quarzo.

Il fenomeno di Hertz venne studiato in seguito da altri fisici, e prima da E. Wiedemann ed Ebert [2], i quali misero in chiaro, che le radiazioni, per produrre il loro effetto, devono colpire l'elettrodo negativo o catodo, mentre risulta indifferente che colpiscano o no l'anodo, e che attraversino o no il gas interposto.

Poichè l'azione è localizzata sul catodo, la natura della pallina formante l'anodo non ha certo veruna influenza. Sembra averla invece la natura del catodo, ed anzi i due fisici citati trovarono preferibile il platino, il quale d'altronde ha il pregio della sua inalterabilità. Ma se la materia del catodo ha tuttavia poca influenza, quando esso è metallico, il fenomeno resta molto modificato, se si adopera un catodo costituito da un liquido conduttore. L'esperienza è allora disposta come mostra la fig. 239. AB è l'intervallo in cui si forma la scintilla fra la pallina A funzionante da anodo ed il liquido, comunicante col conduttore negativo della sorgente per mezzo d'un filo F, e contenuto in un tubo di vetro T. Il ramo TB di questo tubo è capillare, e contiene liquido in una quantità tale, che esso formi per capillarità in B una goccia convessa. Se il liquido è acqua, la luce ultravioletta, che si fa cadere sul catodo liquido B, non ha effetto sensibile. In tal caso dunque il fenomeno di Hertz non si produce in modo percettibile. Ma diviene evidente, se all'acqua si sostituisce un liquido, che assorba alquanto i raggi ultravioletti, per esempio una soluzione acquosa di nigrosina.

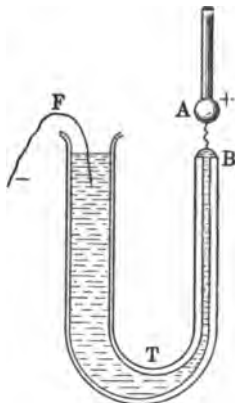



Fig. 239.

Alle ricerche di Wiedemann ed Ebert seguirono quelle di Hallwachs [3], di Righi [4], Stoletow [5] ed altri. Il primo

ottenne il fenomeno foto-elettrico sotto una nuova forma, poichè dimostrò, che un metallo elettrizzato negativamente perde rapidamente la sua carica, quando è colpito dai raggi ultravioletti, mentre non risente azione alcuna quando la sua carica è positiva. L'autore di questo scritto riscontrò il fenomeno di Hallwachs anche nei dielettrici, e nei conduttori per cariche debolissime, come quelle che si producono per semplice contatto, e ne trasse un modo semplice di misurare la forza elettromotrice apparente di Volta. Studiò pure il meccanismo della dispersione dell'elettricità negativa provocata dalle radiazioni, dimostrando che le particelle negative, o meglio i ioni, al moto dei quali si attribuisce oggi il fenomeno, si spostano lungo le linee di forza, quando si opera in un gas alla pressione ordinaria; mentre che, se la pressione grado a grado diminuisce, le traiettorie differiscono di più in più dalle linee di forza, e finiscono coi diventare rette normali al conduttore, e veri raggi catodici, quando si arriva ad una rarefazione estrema. Inoltre scoprì una azione delle radiazioni ultraviolette anche sui corpi non elettrizzati, i quali infatti anche in tal caso perdono elettricità negativa rimanendo elettrizzati positivamente. Stoletow [5], infine, ed altri fisici, studiarono con differenti metodi il fenomeno di Hallwachs in isvariate condizioni sperimentali.

Di questi ultimi fenomeni non si poteva qui non fare almeno un cenno, perchè intimamente legati al fenomeno scoperto da Hertz. Essi tuttavia non ricevono diretta applicazione, almeno fino ad ora, nella telegrafia senza fili, e perciò su di essi non conviene insistere ulteriormente.

Tornando dunque all'influenza delle radiazioni sul potenziale di scarica, merita di essere citato un fatto constatato dai sig. Elster e Geitel [6], e che consiste in ciò, che le radiazioni in certi casi possono ostacolare anzichè favorire la scarica.

Le scariche di una macchina elettrica I (fig. 240) possono prodursi, o fra le palline B, B_1, oppure fra la pallina A (di 14 millimetri di diametro) ed il disco di zinco amalgamato A_1. Se le distanze esplosive sono abbastanza piccole, si può con questa disposizione, che è in fondo identica a quella della figura 238, ottenere il fenomeno di Hertz. Basta infatti far cadere i raggi ultravioletti sul disco A_1, supposto che il conduttore A_1B_1 sia quello che riceve l'elettricità negativa della macchina, mentre uno schermo S difende B_1 dall'azione dei detti raggi, perchè le scintille, che prima scoccavano in BB_1 si formino invece fra A ed A_1.

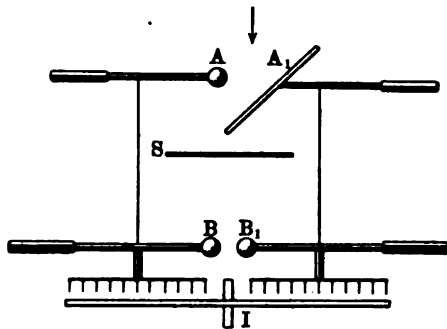



Fig. 240.

Ma se le distanze esplosive BB_1, ed AA_1, sempre approssimativamente equivalenti, si fanno a poco a poco aumentare, il fenomeno di Hertz si rende man mano meno marcato, poi sparisce, ed infine è surrogato dal fenomeno inverso riscontrato da Elster e Geitel, il quale corrisponde, come si è detto, ad un aumento del potenziale di scarica prodotto dalle radiazioni.

Per dimostrarlo, ecco come si può procedere. Si renda abbastanza grande la distanza fra A ed il centro di A_1, per esempio si faccia tale distanza uguale a 8 centimetri, e si allontanino fra loro B e B_1 in modo, che le scariche si formino in AA_1. Ciò fatto, si accostino B e B_1 il più possibile, senza però che le scintille cessino di formarsi in AA_1, cioè si faccia tale la distanza BB_1, che per poco che venisse diminuita, le scintille abbandonerebbero l'intervallo AA_1, per prodursi invece in BB_1. Se in tali condizioni si fanno cadere su AA_1 le radiazioni, subito le scintille scoccano fra B e B_1, e se si vuole che ancora si formino in AA_1, occorre aumentare l'intervallo BB_1, e quindi anche il potenziale di scarica.

I signori Sella e Maiorana [7], che hanno fatto un lungo studio su questi fenomeni, e su quelli assai simili che producono i raggi di Röntgen, ritengono, che il fenomeno di Elster e Geitel si produca, non già per una azione delle radiazioni sul catodo A_1, ma per l'azione loro sull'anodo A, ed alcune loro esperienze sembrano provarlo.

Sia pel fenomeno di Hertz, sia pel fenomeno inverso, l'entità degli effetti osservati dipende dall'intensità e dalla qualità delle radiazioni adoperate. Quelle emesse dalle lampade elettriche ad arco, ricchissime in raggi ultravioletti, sono da preferirsi, specialmente poi se entro uno dei carboni si pone un filo di zinco o di alluminio, o se, più semplicemente, si sostituisce un filo di zinco al carbone positivo [8]. Le radiazioni emesse dalle scintille, specialmente se prodotte fra elettrodi di zinco, cadmio o alluminio, sono esse pure efficacissime, mentre la luce del magnesio in combustione lo è relativamente meno. La luce del sole, specialmente in luoghi di piccola altitudine, è praticamente inattiva. Essa contiene solo i primi raggi ultravioletti, cioè quelli che si trovano immediatamente al di là del limite violetto dello spettro visibile, e di più quei raggi hanno intensità relativamente assai piccola. È però a ritenersi, che questa quasi assoluta mancanza di raggi attivi si debba alla presenza dell'atmosfera, la quale, specialmente negli strati più bassi e più densi, li assorbe abbondantemente.

Tuttavia, anche i raggi del sole, quali ci arrivano attraverso l'atmosfera terrestre, possono dar luogo ai fenomeni fotoelettrici, purchè si adoperino certi corpi, quali lo zinco amalgamato o meglio ancora i metalli alcalini, potassio, sodio, rubidio e le loro leghe. Con questi corpi, e particolarmente coll'ultimo, si riesce ad ottenere il fenomeno di Hallwachs per opera delle radiazioni emesse da una fiamma usuale.

Ma per lo scopo, che abbiamo in vista, occorre dare al fenomeno la massima intensità. Perciò non solo si ricorrerà alle

radiazioni prodotte da una lampada elettrica ad arco, ma si faranno agire tali radiazioni su di un catodo circondato da un gas convenientemente rarefatto.

62. **Telegrafia coi raggi ultravioletti.** — Il prof. Zickler di Brünn trasse partito dal descritto fenomeno di Hertz per la trasmissione a distanza di segnali [9]. Egli opera nel modo seguente. Una sorgente ricca di radiazioni ultraviolette è collocata nella stazione trasmettrice, mentre nella stazione ricevente è collocato un rocchetto d'induzione, che può produrre una serie di scintille fra due elettrodi. La distanza reciproca di questi è però leggermente maggiore della massima lunghezza di scintilla che il rocchetto può dare, per cui è solo sotto l'azione delle radiazioni ultraviolette partite dalla stazione trasmettitrice, che esse possono prodursi. Basterà dunque, che chi si trova in questa stazione lasci libero il cammino a tali radiazioni, oppure le intercetti mediante un diaframma, perchè le scintille nella stazione ricevente si producano o cessino. Con speciali artifici si potrà poi fare in modo, che queste alternative si traducano in segnali sonori o in tratti ad inchiostro sulla striscia di carta d'un ordinario ricevitore di Morse.

Questo sistema telegrafico differisce dunque dalla telegrafia ottica ordinaria in ciò, che per produrre i segnali dell'alfabeto Morse si inviano da una stazione all'altra radiazioni ultraviolette anzicchè radiazioni visibili. Esso si presta inoltre facilmente alla registrazione grafica di tali segnali; e siccome il diaframma, con cui si arrestano i raggi ultravioletti, può essere una semplice lastra trasparentissima di vetro, così i segnali non potranno essere raccolti, da chi non sia provvisto dell'apparecchio ricevitore a scintille. Infatti, senza tale apparecchio non si potrà avvertire alcuna differenza d'intensità apprezzabile nella luce emessa dalla stazione trasmettitrice, secondo che la lastra di vetro

è o no interposta, d'onde un alto grado di segretezza delle trasmissioni, che l'ordinaria telegrafia ottica non possiede.

Questa segretezza delle trasmissioni, che in certi casi ha una importanza inestimabile, e che il sig. Zickler considera come il principale vantaggio del suo sistema, in confronto di quelli pei quali s'impiegano le onde elettriche, è resa per così dire assoluta dalla circostanza, che si possono dirigere le radiazioni mediante lenti o riflettori nella sola direzione della stazione, alla quale i segnali sono destinati; mentre, come fu altrove notato, il fare altrettanto colle radiazioni emesse dagli odierni grandi oscillatori hertziani presenterebbe difficoltà pratiche quasi insuperabili.

A fianco di questo vantaggio relativo, sta però una inferiorità assai pronunciata, quella della portata limitatissima. Infatti, la maggior distanza fra le due stazioni nelle prove del Zickler fu finora di neppure un chilometro e mezzo, mentre è ormai cosa consueta lo scambio di segnali colle onde elettriche fra stazioni lontane decine o centinaia di chilometri, se non in terra, almeno in mare. D'altra parte però è lecito prevedere, che la portata del sistema Zickler potrà grandemente aumentarsi impiegando sorgenti di radiazioni più potenti di quelle finora adoperate, tanto più che tali sorgenti intense si trovano già pronte nei luoghi, ove la telegrafia senza filo può presentare la maggiore utilità, cioè nei grandi fari e nelle grandi navi, le quali raramente mancano di un impianto elettrico e di proiettori.

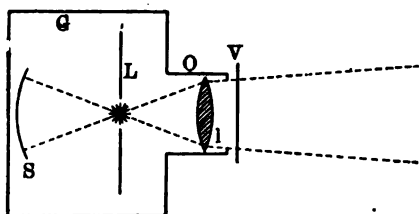



Fig. 241.

Ecco, ad ogni modo, quali sono le disposizioni adottate dal prof. Zickler. La sorgente delle radiazioni, posta nella stazione da cui si trasmettono i segnali, consiste in una lampada elettrica ad arco voltaico L (fig. 241) posta entro una cassa opaca o lanterna G, la quale può essere inclinata in ogni senso alla maniera stessa

dei ben noti proiettori elettrici. Le radiazioni emesse dalla lampada escono dalla cassa passando attraverso ad una lente di quarzo I, la quale, essendo posta ad un'opportuna distanza dalla sorgente, rende paralleli i raggi, e quindi suscettibili di giungere a grandi distanze colla minima perdita della loro intensità. Uno specchio concavo S, il cui centro di curvatura coincide colla sorgente, rende utilizzabili anche i raggi, che si dirigono verso di esso, giacchè li riflette verso il loro punto di partenza, e li unisce così agli altri che si dirigono verso la lente. Il diaframma mobile V, che come fu detto è di vetro, viene rimosso per la produzione di ogni segnale, e cioè per un brevissimo tempo quando si vuol ottenere un punto dell'alfabeto Morse, e per un tempo un po' maggiore quando si vuole ottenere una lineetta. Per comodità il diaframma può essere applicato e mosso alla maniera degli otturatori pneumatici, tanto adoperati negli apparati fotografici.

Oltre alla descritta disposizione dell'apparato trasmettitore, il sig. Zickler ne ha adoperate altre. In particolare ha trovato conveniente il disporre orizzontalmente e nella direzione dell'asse del riflettore i carboni della lampada, e soppressa la lente di quarzo, dare al riflettore concavo le dimensioni degli ordinari proiettori. Egli si propone poi di far uso in seguito di specchi concavi formati con sostanze, il cui potere riflettente sia maggiore di quello della lega rame-nichelio ordinariamente adoperata per i proiettori. Gli specchi di vetro argentato, ottimi quando si vuole ottenere una abbondante riflessione dei raggi luminosi, sarebbero completamente inadatti allo scopo attuale, stante l'assorbimento prodotto dal vetro.

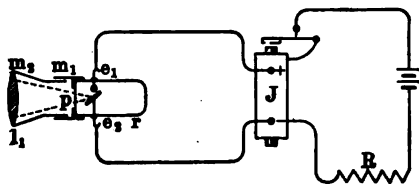



Fig. 242.

La fig. 242 mostra come siano disposti gli apparati di una

stazione ricevente. L'organo principale di questa stazione consiste nel recipiente di vetro r, la cui bocca è chiusa ermeticamente dalla lastra di quarzo p, e che contiene aria o altro gas convenientemente rarefatto. Entro il recipiente penetrano due elettrodi e_1, e_2, il primo dei quali termina con una sfera di pochi millimetri di diametro, mentre l'altro consiste in un piccolo disco di platino, inclinato in modo, che le radiazioni entranti nel recipiente attraverso il quarzo possano colpirne la superficie. Queste radiazioni, provenienti dal proiettore della stazione trasmettitrice, sono concentrate sul disco dalla lente di quarzo l_1. Essa è fissata in un tubo metallico m_2, il quale può entrare più o meno entro un secondo tubo m_1 fissato al recipiente. Si trae partito di questa mobilità per regolare la distanza fra la lente l_1 ed il disco di platino menzionato più sopra.

Alla lente l_1 si può sostituire nella stazione ricevente un grande riflettore concavo. In questo caso l'apparecchio r sarà rivolto naturalmente, non più verso la stazione trasmettitrice, ma nel verso contrario.

Gli elettrodi e_1, e_2 comunicano coi capi del filo indotto d'un piccolo rocchetto d'induzione J munito del suo interruttore, come mostra la figura, e messo in azione da una pila inserita nel circuito induttore. Nello stesso circuito è poi inserita una resistenza R variabile a piacere. Aumentandola gradatamente, si diminuisce la corrente induttrice, e quindi anche la differenza di potenziale fra gli elettrodi, finchè cessano fra questi le scintille. Esse scoccheranno di nuovo, quando le radiazioni ultraviolette, alle quali nella stazione trasmettitrice si è lasciato libero corso per trasmettere un segnale, giungono a colpire il disco di platino, che deve comunicare col polo negativo del rocchetto.

Senz'altre aggiunte si ha così modo di interpretare facilmente i segnali trasmessi, giacchè un flusso di scintille di breve durata, ottenuto togliendo per breve tempo nella stazione trasmettitrice il vetro dal cammino delle radiazioni, si considera come

un punto dell'alfabeto Morse, mentre un flusso di scintille che duri di più, ottenuto con più lunga assenza dal vetro, si considera come una lineetta dell'alfabeto medesimo. Ma, se non si vuol essere costretti ad osservare od ascoltare le scintille stando presso gli apparecchi, basta unire un telefono al circuito indotto. Esso farà sentire un suono, che potrà anche riescire così intenso da essere udito in tutto un grande ambiente. Se lo si preferisce, si potrà anche far in modo, che i segnali siano riprodotti da un campanello elettrico.

Se poi si desidera, che i segnali ottenuti diano una traccia permanente, si ricorre al ricevitore Morse. Il Sig. Zickler ha ottenuto l'intento includendo nel circuito indotto del rocchetto un sensibile soccorritore telegrafico (o *relais*). L'àncora di questo chiude il circuito d'una pila speciale e del ricevitore Morse, ogni volta che le scintille si formano fra i due elettrodi del recipiente *r*. Si ottiene ancora l'intento ricorrendo alla ordinaria disposizione della telegrafia per onde elettriche.

Si ha cioè un coherer o radioconduttore nelle vicinanze degli apparati già descritti. Esso, come di consueto, è collegato ad una pila, ad una elettrocalamita con martellino per restituirgli la resistenza primitiva, e ad un apparato scrivente del Morse. Occorrendo, si farà intervenire un *relais* o soccorritore telegrafico, il quale chiuda ad ogni segnale una corrente speciale nel circuito dell'apparecchio scrivente. Si può dire in poche parole, che le scintille provocate dalle radiazioni ultraviolette fanno la parte delle scintille dell'oscillatore d'una ordinaria trasmissione di segnali per onde elettriche.

Il Sig. Zickler si riserva di studiare più avanti la miglior disposizione per la registrazione dei segnali, come pure la scelta del miglior gas da introdurre nel recipiente, in cui stanno gli elettrodi.

Dopo varie prove di laboratorio egli esperimentò il suo sistema su distanze di più in più grandi. Così, il 25 aprile 1898

ottenne buoni risultati con una distanza di 50 metri fra le due stazioni. La pressione dell'aria nel recipiente contenente gli elettrodi era di 250 millimetri, la corrente adoperata nella lampada ad arco era di circa 26 ampère, e la distanza fra i carboni circa un centimetro. Il 6 maggio la distanza fu portata a 200 metri, mentre il tempo era assai umido (umidità relativa 0,73), e la pioggia sembrava imminente. Più tardi, e precisamente il 5 e 6 ottobre dello stesso anno, il Sig. Zickler potè adoperare un proiettore Schuckert con specchio concavo di 80 centimetri di diametro e 20 centimetri di distanza focale; l'arco voltaico, posto al fuoco dello specchio, era ottenuto con una corrente di 60 ampère. D'altra parte gli elettrodi del ricevitore distavano circa 5 millimetri l'uno dall'altro, e la pressione dell'aria, che li circondava, era di 340 millimetri dapprima, e poi di 200. Si ottennero buone trasmissioni sino a oltre 1300 metri di distanza fra le due stazioni, ciò che costituisce un risultato assai incoraggiante.

Non consta tuttavia a chi scrive, che sieno state eseguite dal Zickler nuove esperienze, nè che egli abbia fatto sull'argomento ulteriori pubblicazioni.

Il prof. Sella [10] ha indicata una disposizione, la quale, a quanto pare, potrebbe riuscire assai utile per ricevere i segnali trasmessi a distanza per mezzo dei raggi ultravioletti. Se sopra uno dei conduttori, che fanno comunicare i poli d'una macchina elettrica in azione coi due elettrodi, fra i quali scoccano le scintille, si inserisce il filo di un ordinario telefono, questo strumento produce un suono. Ciò è assai naturale, giacchè la corrente variabile, che attraversa quel filo, assume un valor massimo ad ogni istante in cui scocca una scintilla, ciò che dà luogo ad una massima flessione della laminetta vibrante. Il numero di vibrazioni per secondo del suono prodotto non sarà altro dunque che il numero di scintille, che per ogni secondo scoccano fra i due elettrodi.

Se, così disposte le cose, si fa cadere sull'elettrodo negativo delle scintille una radiazione ultravioletta, il suono del telefono risulta fortemente alterato, ma riprende il carattere primitivo, non appena le radiazioni siano intercettate.

Si supponga ora, che le radiazioni vengano periodicamente intercettate, per esempio mediante un disco munito di aperture equidistanti, girante uniformemente intorno al proprio asse, e posto fra le scintille e la sorgente dei raggi ultravioletti. Ecco quanto in questo caso si osserva. Se le intermittenze sono assai lente, si ascolta nel telefono il più o meno lento alternarsi dei due suoni, cioè quello che si produce, quando le radiazioni colpiscono il catodo, e quello che si produce, quando esse sono intercettate. Ma accelerando la rotazione del disco queste alternative finiscono col non essere più discernibili, e si comincia invece ad udire un suono nuovo, più o meno acuto, secondo che più o meno grande è la velocità di rotazione del disco. Anzi, il numero di vibrazioni per secondo di quel suono è eguale al numero delle volte, che in un secondo le radiazioni colpiscono il catodo.

Basta ora imaginare, che le radiazioni ultraviolette provengano da una stazione lontana, ove esse sono ora lasciate libere ora intercettate da una lastra di vetro, per avere, in questa disposizione del Sella, quanto occorre per interpretare colla ascoltazione nel telefono i segnali trasmessi col codice di Morse.

Si può, volendo, far sì, che il suono emesso dal telefono acquisti tale intensità, da essere udito in tutta una vasta sala. Basta perciò inserire nel circuito di scarica il filo secondario d'un rocchetto di Ruhmkorff al posto del telefono, e far invece comunicare i capi del filo di quest'ultimo coi capi del filo primario del rocchetto. Un riflettore conico, che può essere di semplice cartone, applicato alla bocca del telefono e rivolto verso chi deve ascoltare, favorisce naturalmente il risultato.

Un'altra disposizione, la quale pure potrebbe forse venire utilizzata nella telegrafia per mezzo dei raggi ultravioletti, è stata descritta dal sig. Dussaud [11], Egli fa agire i raggi ultravioletti, pervenuti alla stazione ricevente, sopra una sostanza fluorescente, cioè su uno di quei corpi, i quali divengono luminosi, quando sono colpiti da certe radiazioni, e particolarmente dalle ultraviolette. La luce emessa da quel corpo agisce sopra un apparecchio a selenio, simile a quelli che saranno descritti più oltre, per mezzo del quale le variazioni d'intensità delle radiazioni si traducono in variazioni d'intensità di una corrente elettrica in un telefono. Se dunque nella stazione trasmettitrice si producono delle variazioni d'intensità periodiche nelle radiazioni ultraviolette, il telefono della stazione ricevente farà udire un suono.

Non sarebbe poi difficile far in modo, che le variazioni di intensità delle radiazioni, generate nella stazione trasmettitrice, fossero prodotte dalla voce d'una persona che parla. In tal caso si otterrebbe nella stazione ricevente la riproduzione delle parole, e cioè si arriverebbe allo stesso risultato, che viene raggiunto colle disposizioni sperimentali descritte nel capitolo seguente.

A. Righi.

Citazioni bibliografiche.

[1]) H. Hertz, Wied. Ann., t. 31, p. 983 (1887).
[2]) E. Wiedemann und Ebert, Wied. Ann., t. 33, p. 241 (1888); t. 35, p. 209 (1888).
[3]) Hallwachs, Wied. Ann., t. 33, p. 301 (1888).
[4]) A. Righi, Mem. della R. Acc. di Bologna, 4.a serie, t. IX, p. 369 (1888); Atti del R. Ist. Veneto, 6.a serie, t. VII (1889); Mem. della R. Acc. di Bologna, 4.a serie, t. X, p. 85 (1890).
[5]) Stoletow, Comp. Rend, t. 106, p. 1149 (1888).
[6]) Elster und Geitel, Wied. Ann., t. 39, p. 352 (1890).
[7]) A. Sella e Q. Maiorana, Rend. della R. Acc. dei Lincei, 12 aprile 1896.
[8]) A. Righi, Atti del R. Ist. Veneto, 6.a serie, t. VII (1889).
[9]) Karl Zickler, Elek. Zeitschr., juli 14, 21 dec. 1898.
[10]) A. Sella. Il N. Cimento, 4.a serie, t. VIII, p. 261 (1898).
[11]) Dussaud, Comp. Rend., t. 128, p. 171 (1899).

CAPITOLO II

Riproduzione di suoni a distanza per mezzo della luce.

63. **Il telefono ed il microfono.** — Mentre nel sistema del Zickler, descritto nel precedente capitolo, la trasmissione dei segnali da una stazione ad un'altra viene effettuata colle onde brevissime ultraviolette, nel sistema, alla descrizione del quale è principalmente dedicato il presente, vengono utilizzate le onde luminose. Esso sta dunque, dal punto di vista delle lunghezze d'onda adoperate, fra il sistema Zickler, ed i sistemi Marconi, Slaby, etc.; ma in tutti i casi la trasmissione viene effettuata dalle onde eteree. Prima però di descrivere le disposizioni adot-

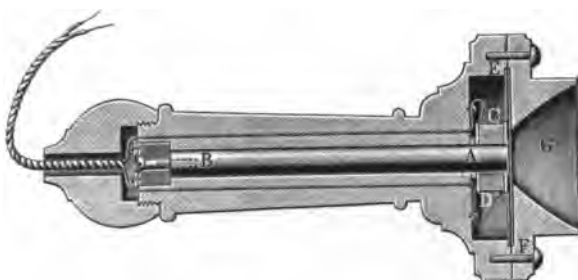



Fig. 243.

tate, particolarmente dal Bell e dal Simon, giova far conoscere alcuni degli strumenti, che a questo scopo vengono utilizzati.

Uno di questi è il telefono elettromagnetico, l'invenzione del quale si suole attribuire al sig. Alessandro Graham Bell. Senza fare neppure un cenno sulla storia di questa invenzione, la quale ci porterebbe assai lontano, descriveremo l'apparecchio di Bell nella sua forma consueta.

Le parti principali di cui consta sono una calamita AB (fig. 243) circondata ad uno dei suoi estremi da un rocchettino di filo di

rame isolato CD, ed un disco di sottile lamina di ferro EF fissato nel suo contorno. Il polo A della calamita si trova a piccolissima distanza dal centro della lamina, e colla sua attrazione su di questa la mantiene leggermente incurvata.

I capi del filo del rocchetto escono dalla montatura, generalmente in legno o in ebanite, dell'istrumento. Un padiglione conico G, che lascia vedere solo la parte centrale della lamina, fa parte pure della montatura.

Due telefoni identici, collocati in stazioni lontane, ed i cui rocchetti sieno posti in comunicazione in modo da formare un unico circuito, bastano per una scambievole trasmissione telefonica. Se infatti presso il padiglione G d'uno dei telefoni si produce un suono qualunque, questo viene ascoltato da chi, nell'altra stazione, accosta il proprio orecchio al padiglione del secondo telefono, il quale riproduce quel suono, bensì con minore intensità, ma colla medesima altezza e collo stesso timbro.

Per spiegare in qual modo questo effetto venga ottenuto, consideriamo separatamente ciò che accade nel telefono trasmettitore, cioè in quello presso cui si parla o in generale si produce il suono da riprodursi, e poi ciò che accade nel telefono ricevitore; al quale duplice scopo basterà avere presente, quanto fu esposto nei §§ 15, 16 e 20.

Quando in prossimità della lamina del telefono trasmettitore si produce un suono, la lamina stessa entra in vibrazione, sotto l'impero delle variazioni di pressione dell'aria generate dalle oscillazioni del corpo sonoro. Essa obbedisce così fedelmente a tali variazioni di pressione che, se al cessare del suono, fosse possibile obbligarla a ripetere i suoi movimenti, essa farebbe ascoltare un suono identico, salvo generalmente l'intensità, al suono originale. Ma mentre non è possibile (salvo che colle disposizioni adottate nei fonografi) far ripetere alla lamina i moti, che ad essa impressero i suoni, è facile invece far sì, che mentre la lamina vibra, un'altra lamina, quella del telefono ricevente,

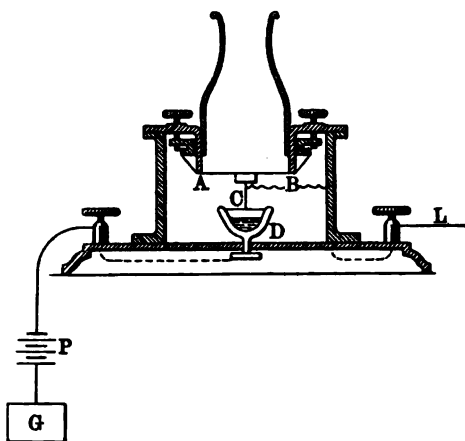
imiti fedelmente, nell' istante medesimo in cui si producono, i movimenti della prima, e generi così un suono simile a quello esistente nella prima stazione. Ecco come il fenomeno si produce.

Ogni moto vibratorio della lamina EF ha per effetto di far variare la piccola distanza esistente fra essa e la calamita AB. Varia quindi l' intensità della polarità magnetica esistente nella lamina per influenza della calamita, e per reazione, la distribuzione del magnetismo nella calamita stessa. Ne consegue, che in pari tempo varia il flusso della forza magnetica entro il rocchetto CD, ciò che ha per effetto la produzione d' una corrente elettrica indotta nel filo del medesimo. La direzione di tale corrente è diversa, secondo che la lamina si avvicina alla calamita o se ne allontana, e la sua intensità dipende dalla distanza attuale fra la lamina vibrante e la calamita e dalla velocità con cui sta muovendosi. Vediamo ora l' effetto prodotto nel telefono ricevitore dalle correnti generate nel telefono trasmettitore.

Tali correnti fanno variare il campo magnetico generato dalla calamita, e quindi la forza che inflette la lamina. Infatti, a seconda della direzione loro, le correnti stesse aumentano o diminuiscono quella forza, poichè tendono a far crescere o a far diminuire la polarità magnetica della calamita. Ne consegue, che la lamina sarà nel primo caso piegata anche di più verso la calamita, in parte rilasciata nel secondo caso, e questo spostamento della lamina sarà più o meno grande a norma della maggiore o minore intensità della corrente. Dunque, i movimenti della laminetta del telefono ricevitore imiteranno quelli della laminetta vibrante nel telefono trasmettitore. Se le comunicazioni fra i due apparecchi sono fatte a dovere, ogni volta che la lamina vibrante si avvicina alla propria calamita o se ne allontana, quella del secondo apparato farà altrettanto; se la prima si muove più o meno velocemente, più o meno velocemente si muoverà pure la seconda. Anzi, in base alle leggi dell' elettromagnetismo e dell' induzione si dimostra, che con molta approssimazione ed astra-

zione fatta dalla ampiezza, le vibrazioni della lamina del secondo strumento sono una imitazione fedele di quelle della lamina del telefono trasmettente. Ciò è confermato dall'esperienza, giacchè, come è notorio, non solo ascoltando nell'apparato ricevitore si riconosce l'altezza precisa ed il timbro del suono prodotto presso il trasmettitore, ma si riconoscono anche quelle sfumature di timbro, per le quali la voce d'una persona differisce da quella di un'altra. È poi evidente che, invertendo le comunicazioni fra i due apparati, ogni volta che la laminetta del telefono trasmettitore si accosta alla propria calamita, quella del ricevitore si allontana dalla propria, anzichè avvicinarsi ad essa, come si è supposto prima; e viceversa. Ma questa inversione non modifica il risultato in modo sensibile, ragione per cui non è necessario stabilire le comunicazioni fra i due telefoni in un modo determinato.

Fig. 244.

Conservando il descritto telefono come apparato ricevitore, si possono sostituire al trasmettitore apparati fondati su diverso principio. Il trasmettitore a carbone, detto anche *microfono*, dà effetti buonissimi, tanto che permette di ottenere dal telefono ricevitore una grande intensità sonora. Per meglio comprendere il modo d'agire di tale apparato, consideriamo dapprima il trasmettitore a liquido di Bell (fig. 244), composto d'una membrana AB, cui è fissato un filo di platino C comunicante col filo di linea L, che va al telefono ricevitore, e di uno scodellino metallico D, contenente un elettrolito, e comunicante con uno dei poli d'una

pila P. Il secondo polo di questa comunica col suolo in G, se anche nella stazione ricevente il secondo capo del rocchetto del telefono è in comunicazione colla terra; o altrimenti un secondo filo è teso dalla prima alla seconda stazione onde completare il circuito.

Parlando al disopra della membrana, essa entra in vibrazione, ciò che ha per conseguenza il variare della distanza fra il filo C e il fondo del recipiente D, e quindi il variare della resistenza del circuito. Queste variazioni di resistenza producono variazioni d'intensità della corrente, che percorre il rocchetto del telefono, e per conseguenza vibrazioni della laminetta di questo strumento, il quale farà così udire una riproduzione dei suoni generati presso la membrana.

Il trasmettitore a liquido presenta degli inconvenienti pratici, che non si riscontrano nel trasmettitore a carbone, il quale differisce dal primo in ciò, che C e D sono due pezzi di carbone in contatto. Le vibrazioni della membrana AB fanno variare la pressione reciproca dei due carboni e quindi la condizione di essi nei punti di contatto, ciò che ha per risultato una variazione della resistenza elettrica del sistema, come nel caso precedente.

I carboni possono essere di varie forme, dimensioni, e numero. Assai efficace è il microfono a polvere di carbone o di piombaggine, che è oggi il più diffusamente adoperato. Esso dà molta chiarezza ai suoni riprodotti e notevole intensità, tanto che chi scrive potè ottenere fino dal 1878, mediante il suo trasmettitore a piombaggine ed un telefono ricevitore simile a quello di Bell, una riproduzione di suoni d'intensità tale, che in tutta una vasta sala essi erano nettamente ascoltati, anche allorchè la stazione trasmettitrice si trovava a 47 chilometri da quella ricevitrice [1]. Il primo telefono a carbone si deve ad Edison, che lo costrusse pure nel 1878. Hughes, il noto inventore del telegrafo stampante, l'inventò dal canto suo press'a poco alla stessa epoca, e gli diede il nome di microfono, che ha poi conservato.

Nel sistema di telefonia senza fili, che sarà descritto più oltre, troveremo bensì un microfono ed un telefono di Bell, il primo nella stazione trasmettitrice e l'altro nella stazione ricevitrice; ma fra l'una e l'altra la comunicazione sarà fatta non più con uno o due fili metallici, ma mediante un fascio di luce, traendo partito di una certa proprietà posseduta dal selenio.

64. **Le singolari proprietà del selenio.** — Questo corpo, molto affine allo zolfo per le sue proprietà chimiche, può esistere in due stati allotropici, che presentano caratteri fisici differentissimi. Esso trovasi in commercio nello stato vetroso, ed in tale stato ha un colore bruno carico quasi nero, trasparente solo sotto piccolissimo spessore, nel qual caso trasmette una luce rossa, ha la superficie levigata e lucente, ed è, quanto il vetro, cattivo conduttore dell'elettricità. Può fondersi, ed una volta che riprende lo stato solido, mostra ancora gli stessi caratteri. Ma se viene mantenuto per un tempo sufficiente ad una temperatura piuttosto elevata, però inferiore alla sua temperatura di fusione, per esempio a 180°, esso si trasforma, ed assume lo stato metallico. Il selenio presenta allora una struttura cristallina ed un colore grigio di grafite, è opaco anche sotto piccolo spessore, ed è dotato d'un certo grado di conduttività elettrica. È in questo stato cristallino, che il selenio presenta le singolari ed utili proprietà, di cui occorre dar qui un breve cenno.

Il sig. Willoughby Smith adoperò nel 1873 dei bastoncelli di selenio cristallino per costruire delle forti resistenze elettriche; ma non tardò ad accorgersi, che tali resistenze erano variabilissime. Il sig. May, preparatore dello Smith, cercando le cause di queste variazioni apparentemente capricciose, si accorse, che il selenio è più resistente nell'oscurità, che quando è esposto alla luce [2]. In altre parole, la conducibilità elettrica del selenio cristallino aumenta, allorchè si fanno su di esso cadere delle radiazioni luminose.

Dalle molteplici ricerche fatte dai fisici intorno a questo fenomeno si ricava, che i raggi rossi ed aranciati dello spettro producono l' effetto più marcato, mentre quelli ultrarossi e quelli più rifrangibili verdi, azzurri, etc., producono una variazione di conducibilità di più in più piccola, e che la variazione stessa si produce senza sensibile ritardo, mentre non sparisce completamente che dopo un certo tempo.

Quanto a spiegare il fenomeno, l'ipotesi che la luce trasformi momentaneamente in selenio cristallino del selenio rimasto vetroso, sembrò dapprima la più naturale; ma a tale ipotesi si mossero gravi obbiezioni. Qualcuno poi suppose, che l' azione della luce avesse luogo, non già sul selenio puro, ma su composti di selenio e del metallo con cui è o fu in contatto, sciolti nel selenio stesso, e pensò che la luce modificasse la quantità esistente di tali composti. Ma a tutt' oggi non si è in grado di assegnare con sicurezza la causa del fenomeno fotoelettrico presentato dal selenio.

La presenza di qualche composto nel selenio, quale viene adoperato in queste esperienze, è resa probabile dal fatto, che anche se tenuto sempre nell' oscurità perfetta, esso si comporta come un elettrolita, e unito a due metalli di natura diversa costituisce una coppia voltaica [3]. Si constata poi d' altra parte, che la forza elettromotrice d' una tale coppia varia, quando si illumina il selenio, ciò che costituisce una proprietà fotoelettrica verosimilmente distinta da quella considerata dianzi. Infine si constata, che la differenza di potenziale di contatto fra selenio cristallino ed un conduttore qualunque è modificata dalla illuminazione, tanto che se si forma un condensatore, di cui un' armatura sia costituita dal selenio e l' altra, separata dalla prima da un sottilissimo strato d' aria, sia d' un metallo qualunque in parte permeabile alla luce (per esempio una reticella metallica), si verifica coll' aiuto d' un sensibile elettrometro il seguente curioso fenomeno: se si mettono per un momento in comunicazione reciproca

le due armature, mentre il selenio è all'oscuro, basta illuminarlo, perchè il condensatore si carichi di elettricità; e viceversa, mettendo per un istante le armature in reciproca comunicazione mentre la luce cade sul selenio, basta metterlo nell'oscurità, perchè le armature si carichino, con segni contrari a quelli del caso precedente [4].

Ma fra questi singolari fenomeni presentati dal selenio, ed altri che per brevità non si sono menzionati, quello, che pel nostro scopo possiede il massimo interesse, è la variazione di resistenza elettrica prodotta dalla luce.

Poichè il selenio cristallino ha una opacità paragonabile a quella dei metalli, è chiaro, che l'azione della luce si limiterà agli stati superficiali. Per ottenere gli effetti più marcati sarà bene sopprimere, per quanto è possibile, la massa interna del selenio riducendolo ad una lamina di spessore piccolissimo. Se non che, così facendo, si cade in altro inconveniente, quello cioè di dare al selenio stesso una resistenza enorme; ma vi si pone in parte riparo col dare ai due conduttori metallici, fra i quali va incluso il selenio, una forma speciale. La disposizione seguente, dovuta al signor Mercadier, è semplice ed efficace [5]. Due lunghi e sottili nastri d'ottone o di rame separati da striscie di carta di egual larghezza, sono avvolti in modo da formare un cilindretto, che viene poi schiacciato in uno strettoio per mezzo delle viti dd' (fig. 245). Nella figura uno dei nastri è rappresentato da una linea sottile bb' e l'altro da una linea più grossa aa', mentre lo spazio bianco cc', che separa queste linee, rappresenta la carta interposta. Si hanno così due elettrodi comunicanti con due serra-

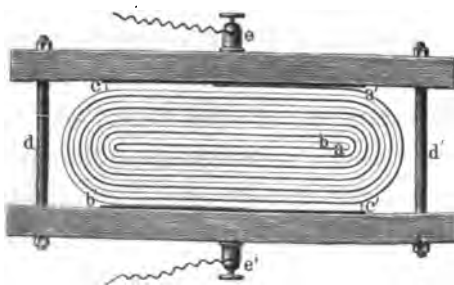



Fig. 245.

fili *ee'* ed isolati l'uno dall'altro, come è facile verificare con una pila ed una soneria elettrica. Dopo avere resa ben piana una delle faccie del sistema, mediante una lima o con carta vetrata, si riscalda il tutto finchè, passando su di esso un bastoncino di selenio, questo fonda, e lasci un velo continuo aderente al metallo e sovrapposto alla carta. Raffreddato l'apparecchio, lo si porta nella stufa, ove il selenio si trasforma da vetroso in cristallino.

Un'altra disposizione altrettanto conveniente si ottiene sovrapponendo tante lastrine rettangolari di rame intercalate da altre di carta, coll'avvertenza di far sporgere da una parte le lastre di rango dispari e dall'altra quelle di rango pari, onde riunirle poi in due sistemi conduttori. Su una delle faccie laterali di questa specie di pila si fa poi aderire il selenio, come nel caso precedente.

Tanto con l'una che coll'altra disposizione, quantunque lo strato di selenio sia assai sottile, la sezione trasversale del medesimo condotta perpendicolarmente alle linee di corrente non è piccola, stante la grande estensione d'uno dei lati di questa sezione, il quale non è altro che la lunghezza dei nastri o quella complessiva della parte utile delle lastrine.

Con un tale *ricevitore* a selenio il fenomeno fotoelettrico assume una grande evidenza. Messo lo strumento in circuito con una pila ed un galvanometro, si vede aumentare assai la deviazione data da questo, quando sul selenio si faccia cadere la luce.

65. Il fotofono e la radiofonia. — Fino dal 1878 il Signor Graham Bell, avuta cognizione dei curiosi effetti, che il selenio presenta sotto l'azione della luce, pensò di studiarli mediante il telefono. Intraprese perciò, colla collaborazione del Signor Sumner-Tainter una lunga serie di ricerche, dei cui risultati, comunicati all'Associazione americana pel progresso delle scienze nella sessione del 1880, dobbiam dare qui un riassunto.

Si renda intermittente in un modo qualunque l'illuminazione del selenio, per esempio collocando sulla retta, che va dalla sorgente luminosa al ricevitore a selenio, un disco, munito di fori equidistanti, ed animato da un moto di rotazione uniforme. Se nel circuito del selenio e della pila, che fornisce la corrente per esso passante, s' inserisce un telefono, si ascolterà un suono accostando all'orecchio questo strumento. Questo suono sarà più o meno acuto, a seconda della maggiore o minor velocità di rotazione del disco, ed anzi si potrà constatare, che il numero di vibrazioni per ogni secondo del suono dato dal telefono, è uguale al numero delle intermittenze luminose, che si compiono nel medesimo intervallo di tempo. Se infatti si colloca presso il disco e perpendicolarmente al medesimo un tubo comunicante con una soffieria, per modo che l'aria non esca liberamente da esso che nei soli istanti in cui davanti al tubo passa una delle aperture del disco, questo efflusso intermittente di aria genererà un suono d'altezza eguale a quella del suono dato dal telefono.

La produzione di questo suono si spiega facilmente. Ogni volta che la luce giunge sul selenio, essa ne aumenta la conducibilità, d'onde un aumento d'intensità della corrente ed una maggior attrazione sulla laminetta del telefono, la quale si piega di più verso la calamita. Questi spostamenti della laminetta, ripetendosi a brevi e costanti intervalli, produrranno un suono.

I suoni così prodotti riescono percettibili, anche quando la distanza fra la sorgente luminosa ed il selenio è assai grande, per esempio oltre 200 metri, quando si adopera la luce solare, se si ha cura di concentrare la radiazione sul ricevitore a selenio per mezzo di una lente o di uno specchio concavo. Se si prende una semplice candela come sorgente luminosa, si riesce ad ottenere pure un suono distinto, ma naturalmente solo a piccole distanze.

La disposizione sperimentale descritta può costituire un sistema telegrafico, che non ha bisogno del filo di comunicazione. Basta infatti aggiungere, davanti alla sorgente luminosa, un diaframma opaco, che possa muoversi, e lasciar così libero il cammino al fascio luminoso, mediante l'abbassamento di una leva, perchè, manovrando quest'ultima alla maniera di un tasto telegrafico ordinario, i segnali dell'alfabeto Morse, e cioè i punti e le lineette, vengano rilevati alla stazione ricevente da suoni brevi o lunghi dati dal telefono.

Ma i due inventori americani andarono più oltre, e giunsero a trasformare questa specie di telegrafo ottico in telefono ottico, o in *fotofono* secondo la denominazione adottata, cioè a far sì, che nel telefono comunicante col selenio potessero ascoltarsi, non solo suoni musicali, ma le parole pronunciate nella stazione trasmettitrice.

Occorreva, a questo scopo, far sì che la luce, che illumina il selenio, subisse delle variazioni d'intensità pienamente corrispondenti alle variazioni di pressione, prodotte nell'aria dalle onde sonore generate da chi parla. Fra i numerosi metodi tentati per giungere a questo risultato, due ne citeremo. Il primo consiste nel prendere come sorgente luminosa una piccola fiammella a gas, riunita ad una delle note capsule manometriche di Koenig. La fiammella, influenzata dalle vibrazioni della membrana presso la quale si producono i suoni, e al di dietro della quale passa il gas illuminante, subisce variazioni di splendore corrispondenti alle vibrazioni sonore. Basta allora far cadere la luce della fiammella sul selenio per raggiungere lo scopo. Sostituendo al gas illuminante l'acetilene, come recentemente si è fatto, si ottengono risultati assai migliori.

L'altro metodo, che venne preferito, perchè si presta ad esperienze nelle quali la distanza fra il trasmettitore ed il ricevitore a selenio sia assai grande, consiste nell'impiego di una lamina vibrante speculare.

Chi parla, accosta la bocca ad una laminetta circolare, fissata alla sua periferia alla maniera di quella di un telefono. Però quella laminetta non è di ferro, ma bensì di mica o di sottilissimo vetro, l'una o l'altro argentati sopra una delle faccie. La laminetta vibra allora, come quella di un telefono trasmettitore e cioè in modo tale, da generare nell'aria per conto proprio suoni identici a quelli, che la mettono in movimento. Ora, sulla laminetta vibrante e speculare viene concentrata la luce per mezzo d'una lente, mentre una seconda lente, che riceve la luce riflessa dalla laminetta, trasforma il fascio dei raggi da essa divergenti in un fascio di raggi paralleli. È questo fascio di raggi paralleli, che, giungendo sul selenio della seconda stazione, darà poi luogo alla riproduzione dei suoni. Ecco in qual modo. Mentre la laminetta argentata quando non vibra, ha la forma piana, essa s'incurva in un senso e nell'altro formando alternativamente uno specchio concavo od uno specchio convesso, allorchè presso di essa si parla o si producono suoni di qualunque specie con sufficiente intensità. Quando ciò si verifica, il fascio luminoso inviato alla seconda stazione cessa di essere un fascio a raggi paralleli per diventare convergente o divergente, per cui rimane modificata l'illuminazione sul selenio.

Tali variazioni sono strettamente legate alle variazioni di forma della laminetta vibrante, per cui si comprende come il telefono, messo nel circuito del selenio, possa riprodurre con fedeltà i suoni generati presso la laminetta argentata.

Nelle esperienze fatte da Bell e Tainter fra la scuola Franklin di Washington ed il laboratorio di Bell, la distanza era di 213 metri e la trasmissione delle parole riescì benissimo. Si può ritenere quindi che, coi mezzi oggi posseduti, si potrebbe ottenere un risultato soddisfacente anche con distanze assai maggiori.

Nel corso delle esperienze relative al fotofono, i due fisici americani constatarono, che anche senza far uso del selenio è possibile ottenere la riproduzione di suoni per effetto dell'illumi-

nazione intermittente. Se infatti le radiazioni, rese intermittenti per opera del disco forato girante, cadono sopra un corpo qualunque, basta accostare a questo l'orecchio, perchè si ascolti con intensità più o meno grande un suono, la cui altezza dipende dalla rapidità delle intermittenze. L'intensità di suono ottenuta è più o meno grande a seconda della natura del corpo sul quale cadono le radiazioni, e può dirsi genericamente, che è maggiore coi corpi, che assorbono in maggior abbondanza le radiazioni stesse. Dalle numerosissime esperienze di diversi fisici, ed in particolare del sig. Mercadier citato già più sopra, si sono ricavate delle conclusioni, che conducono ad una soddisfacente spiegazione di questi fenomeni tanto curiosi. Contrariamente alle opinioni che prevalsero in principio, e secondo le quali i suoni ottenuti colla illuminazione intermittente sarebbero dovuti alle alternative dilatazioni e contrazioni del corpo illuminato provocate dall'assorbimento delle radiazioni per parte del medesimo, e dal conseguente momentaneo riscaldamento, si ritiene oggi, che non già il corpo colpito dalla luce, ma bensì lo strato d'aria ad esso attiguo vari periodicamente di volume, riscaldandosi momentaneamente al contatto del corpo assorbente, ad ogni arrivo delle radiazioni. Si comprende ad ogni modo, come la condizione necessaria per ottenere effetti intensi siá quella di ricevere le radiazioni sopra un corpo dotato di grande potere assorbente. Ed infatti il nero fumo, od un corpo qualunque la cui superficie sia stata affumicata, produce suoni alquanto intensi.

Una disposizione conveniente per ottenerli è la seguente, dovuta al Mercadier. Entro un tubetto di vetro, chiuso ad una estremità ed a pareti sottili, si pone una laminetta di mica affumicata, e si unisce mediante un pezzetto di tubo di gomma l'estremità aperta del tubo ad un imbuto o ad un grande padiglione simile a quello d'uno strumento a fiato. Facendo cadere sul tubo la luce del sole o d'un'arco voltaico, resa intermit-

tente dal solito disco girante, si produce un suono abbastanza intenso perchè sia udito anche a distanza.

Questo semplicissimo ricevitore fotofonico è stato poi adoperato dal Mercadier anche per la riproduzione della parola. Il tubo di gomma, che parte dal tubo contenente la mica affumicata, è in tal caso accostato all'orecchio, mentre naturalmente le variazioni d'intensità della radiazione che cade sul ricevitore sono ottenute, non più col disco girante, ma col trasmettitore a laminetta argentata.

Sino a non molto tempo fa questo trasmettitore, fra i tanti possibili e facili ad imaginare, era quello che dava gli effetti migliori; ma oggi non si può più dire altrettanto. Infatti, certi fenomeni assai interessanti scoperti in questi ultimi tempi, e dei quali si darà notizia nel seguente paragrafo, forniscono un trasmettitore fotofonico di efficacia molto maggiore.

66. **Le proprietà acustiche dell'arco voltaico.** — I curiosi fenomeni, di cui dobbiamo dare ora notizia, ebbero la loro origine da una osservazione fatta dal sig. Simon [6]. Egli si accorse cioè, che una lampada elettrica ad arco, alla quale la corrente era fornita da una batteria di accumulatori, emetteva un suono intenso, allorchè era in azione in altro ambiente un rocchetto d'induzione. E siccome una parte del circuito primario di questo correva parallelo e vicino a parte del circuito della lampada, così comprese immediatamente, che quel suono era dovuto alle correnti indotte generate nel circuito della lampada, dalle intermittenze, prodotte dall' interruttore annesso al rocchetto, nel circuito primario di questo. I rocchetti del regolatore differenziale della lampada non avevano parte sensibile nella produzione del fenomeno, come si poteva forse supporre, e diffatti un semplice sistema di due carboni senza regolatore potè dare l'identico risultato. L'arco voltaico, in questa esperienza, merita veramente la denominazione di *arco parlante*, che gli si

è dato, come la luce che emette, merita di essere chiamata *luce parlante.*

Un fenomeno sonoro analogo venne osservato dal sig. Jervis-Smith [7]. Mentre teneva accesa una lampada Serrin con una corrente presa dalle condutture stradali, faceva agire in un ambiente lontano una ventina di metri, e con corrente presa pure dalle stesse condutture, un rocchetto di Ruhmkorff unito ad un interruttore elettrolitico. L'arco voltaico emetteva un suono musicale così intenso, da riescire incomodo anche stando ad oltre un metro dalla lampada, e la cui altezza era eguale a quella del suono dato dall'interruttore. Portato l'interruttore ad un miglio di distanza, il suono della lampada divenne più debole, ma tale da potere essere ancora ascoltato a 3 o 4 metri da essa, cosicchè, manovrando un tasto messo nel circuito dell'interruttore elettrolitico, si potevano trasmettere segnali sonori, interpretabili secondo l'alfabeto di Morse. Di qui una possibile applicazione pratica nelle città, ove esiste una rete d'illuminazione elettrica.

Il prof. Simon modificò poscia le condizioni dell'esperienza, e in particolare sostituì alla corrente intermittente, la corrente variabile del circuito di un microfono. Nel circuito della lampada *b* (fig. 246) è inserito uno dei fili AA di un rocchetto d'induzione o trasformatore, il cui secondo filo BB è inserito nel circuito di un microfono *m* e di una pila. I tratti di fili *ll* devono essere abbastanza lunghi, perchè il microfono possa collocarsi in una camera assai lontana da quella ove trovasi l'arco voltaico *b*. Producendo dei suoni davanti al microfono, l'arco li riproduce fedelmente, non solo nella loro altezza, ma anche nel loro timbro, tanto che le parole pronunciate presso il microfono possono essere chiaramente udite,

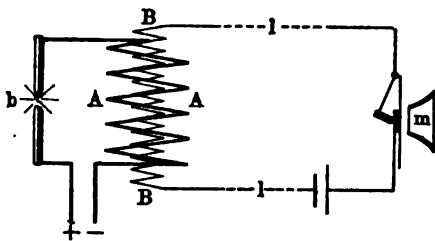



Fig. 246.

da chi accosti all'orecchio un tubo terminante con un imbuto rivolto alla sorgente luminosa. I suoni così riprodotti hanno piccola intensità; ma vedremo più avanti, come si sia giunti a renderli molto più intensi di quelli di un telefono.

Si può dire succintamente che, nell'esperienza descritta, l'arco voltaico trasforma delle variazioni d'intensità della corrente in onde sonore. Orbene il sig. Simon dimostrò subito dopo, che l'arco stesso si presta anche alla trasformazione inversa, e cioè che l'*arco parlante* è in pari tempo *arco ascoltatore*. Per dimostrarlo basta sostituire nella disposizione descritta un telefono al microfono e relativa pila. Chi accosta il telefono all'orecchio ode chiaramente ripetuti i suoni prodotti in prossimità dell'arco, specialmente se, facendo uso di un imbuto o in genere d'un opportuno riflettore, si cerca di concentrare su di esso l'effetto delle onde sonore.

La spiegazione di questi fenomeni, proposta dal Simon, è quella, che spontanea si presenta alla mente. Le variazioni d'intensità della corrente che alimenta l'arco, prodotte dall'induzione, producono variazioni analoghe nel volume dei gas conduttori costituenti la fiamma, ossia l'arco voltaico. Queste variazioni di volume generano naturalmente delle onde sonore nell'aria ambiente.

Come le variazioni di corrente generino variazioni di volume dei gas incandescenti, si può poi spiegare in due modi, e cioè come effetto di variazioni nella quantità di carbone ridotta in vapore, o come effetto delle variazioni nella quantità di calore sviluppato secondo le leggi di Joule. Quest'ultima causa di produzione del suono sembra essere la principale, se non l'unica, e fra altro lo prova il fatto, che le variazioni di volume generatrici dei suoni sono accompagnate da analoghe variazioni nell'intensità della luce emessa. Ed infatti, il sig. Simon [8] è riescito a riprodurre i suoni dell'arco voltaico, ricevendo la luce da esso emessa sopra un ricevitore a selenio. Tuttavia le ricerche

ulteriori hanno mostrato, che non tutte le conseguenze desunte dalla esposta spiegazione risultano confermate; per cui la spiegazione stessa, pur sembrando esatta nelle sue linee generali, non può ritenersi completa.

Quanto all'uso dell'arco voltaico come apparato di trasmissione, si può dire brevemente, che le variazioni di volume della massa gassosa costituente l'arco voltaico producono in esso variazioni di resistenza, d'onde il comportamento simile a quello di un ordinario microfono.

Veramente, altre spiegazioni del fenomeno scoperto da Simon sono state proposte più tardi. Così il sig. Hartmann [9], prendendo in considerazione i vari filetti di corrente che vanno da un carbone all'altro e formano l'arco voltaico, ammette, che le variazioni d'intensità della corrente alimentatrice, modificando la reciproca loro azione elettrodinamica, determinino per ciò soltanto le variazioni di volume, che poi generano le onde sonore. Ed inversamente, quando le onde sonore colpiscono l'arco, esse, secondo Hartmann, spostano e deformano le linee di corrente, d'onde la produzione di correnti indotte, che poi fanno funzionare il telefono. Non pare si possa escludere, che le azioni invocate da Hartmann abbiano la loro parte nella produzione dei fenomeni, specialmente nel caso in cui l'arco voltaico serve come trasmettitore.

La spiegazione del Simon riceve tuttavia una conferma dal fatto, che una conseguenza, che il sig. Braun [10] dedusse da essa, risulta confermata sperimentalmente.

Il Braun fece osservare, che con una stessa ampiezza delle correnti indotte oscillatorie, che per opera del microfono si sovrappongono alla corrente principale, si possono ottenere effetti potenti quanto si vuole, aumentando sufficientemente l'intensità della corrente nell'arco. Ciò è conseguenza della legge di Joule, e non si verificherebbe, se la quantità di calore sviluppato da una corrente fosse semplicemente proporzionale all'intensità di

questa, anzichè al suo quadrato. Ora, per quanto possano sussistere dei dubbi sull'esistenza di una vera e propria resistenza nell'arco voltaico, le esperienze nel loro complesso mettono in evidenza, che realmente i suoni divengono più intensi, quando si aumenta, a parità di tutte le altre condizioni, l'intensità della corrente costante, che alimenta la lampada.

Il sig. Simon tentò, senza effetto, di ottenere fenomeni simili a quelli descritti, sostituendo all'arco voltaico una fiamma, per esempio quella di un usuale becco Bunsen; ma il sig. Ruhmer [11] fu più fortunato. Ecco come questo sperimentatore dispone le cose. Il microfono M (fig. 247) comunica col filo corto di un trasformatore T, mentre le estremità del filo lungo del medesimo comunicano, l'una col becco B, e l'altra con una laminetta di platino P, lambita dalla fiamma. In tali condizioni si ottiene da questa una debole ma chiara riproduzione dei suoni prodotti davanti al microfono.

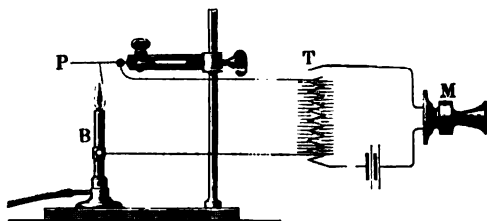
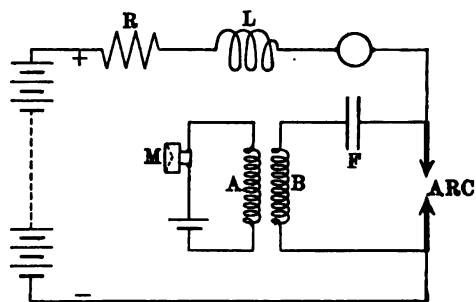



Fig. 247.

Fig. 248.

Progressi notevoli in queste ricerche si devono al sig. W Duddell [12]. Egli riescì ad ottenere dall'arco voltaico suoni più intensi, adoperando nuove disposizioni sperimentali. Una di queste, che gli permise di far sentire le parole sino a circa 6 metri di distanza dall'arco, è quella rappresentata dalla fig. 248. Il microfono M agisce, per mezzo del

trasformatore AB, non già direttamente nel circuito dell'arco, come nella primitiva disposizione di Simon, ma sopra un circuito derivato interrotto da un condensatore F. Nel circuito principale, oltre alla resistenza R, che serve a regolare la corrente, è inserito un rocchetto L presentante una forte autoindizione, ed avente lo scopo di impedire, che le correnti ondulatorie di B si propaghino attraverso gli accumulatori anzichè attraverso l'arco. È noto infatti, che un filo avvolto ad elica oppone una apparente resistenza grandissima, dovuta alle forze elettromotrici d'induzione, ad una corrente variabile, quand'anche la resistenza effettiva del filo per una corrente costante sia piccolissima.

Fig. 249.

La fig. 249 mostra la disposizione, egualmente efficace, addottata da Duddell, per far servire l'arco, non più come telefono ricevitore, ma bensì come trasmettitore. In T sta il telefono parlante.

Ciò che rende vantaggiosa la disposizione di Duddell, è principalmente la circostanza, che con essa si impedisce alle correnti ondulatorie, le quali devono agire sull'arco, di percorrere l'intero circuito, e di subire così un inutile indebolimento. Può quindi considerarsi come altrettanto efficace l'altra seguente disposizione descritta da Simon. Il circuito della lampada L (fig. 250) contiene, oltre la batteria B e la resistenza R, una forte autoinduzione I, ed uno degli avvolgimenti, e precisamente

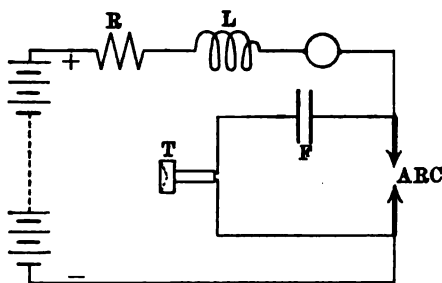
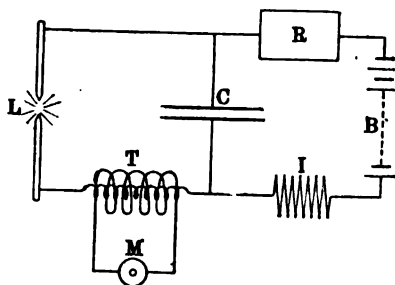



Fig. 250.

quello formato da pochi giri di filo, di un trasformatore T. Il filo lungo del trasformatore comunica col microfono M, e fra esso ed il rocchetto I è congiunto al circuito un filo connesso ad una delle armature d'un grande condensatore C, di cui l'armatura opposta comunica col circuito principale in un punto posto fra la lampada e la batteria al di là del rocchetto I. Il condensatore contribuisce all'effetto utile, che con questa disposizione si vuol raggiungere. Tale disposizione è anche vantaggiosa, come del resto quella descritta da Duddell, quando l'arco è alimentato, non più da accumulatori, ma da una macchina dinamoelettrica.

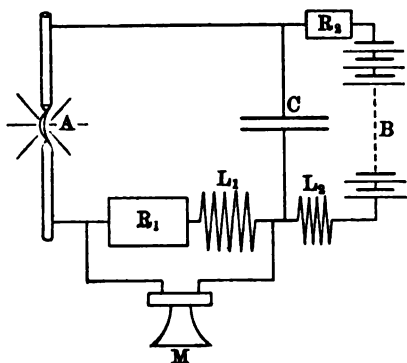



Fig. 251.

Altre disposizioni sperimentali si sono pure ideate. Così quella della fig. 251, indicata recentemente dal Simon, fornisce buoni effetti. Come si vede, il microfono M è posto in un circuito derivato. Inoltre, C è un condensatore, B la sorgente della corrente continua, R_1, R_2 delle resistenze, L_1, L_2 delle opportune autoinduzioni.

Disposizioni sperimentali più semplici furono consigliate dal

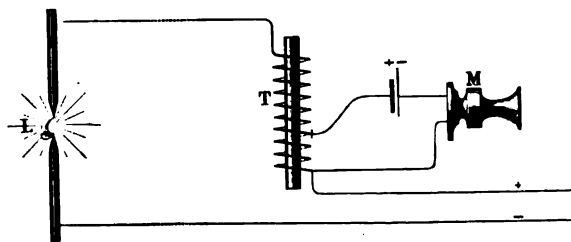



Fig. 252.

signor Ruhmer. Dalle ricerche di questo autore e da quelle del Simon risulta, che, quando sia prestabilita la differenza di

potenziale della sorgente destinata ad alimentare la lampada, e l'intensità di corrente che si deve adoperare, esiste un certo rapporto di trasformazione, col quale si ottengono gli effetti migliori. Perciò è conveniente adoperare un trasformatore a rapporto variabile, per esempio costruito in modo, che tenuto fisso il numero delle spire di uno dei circuiti, si possa a piacere variare il numero delle spire dell'altro.

Il Ruhmer consiglia l'uso di un trasformatore ad un solo avvolgimento T (fig. 252), tutte le spire del quale sono percorse dalla corrente della lampada L, mentre una parte soltanto di esse è inclusa nel circuito del microfono M. Se il rapporto di trasformazione si rende eguale all'unità, la disposizione diviene quella della fig. 253, che fu adoperata

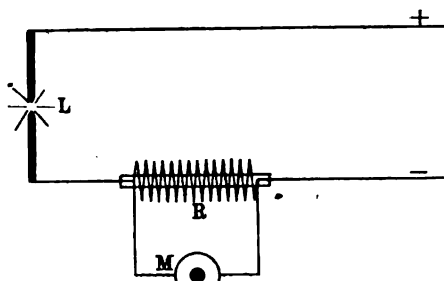



Fig. 253.

in pari tempo dal Ruhmer stesso e dal Simon. Essa si raccomanda per la sua semplicità, giacchè, scelta opportunamente la resistenza del rocchetto, si può far a meno della pila annessa al microfono, come pure per i buoni risultati, che da essa si ottengono. L è la lampada, R il rocchetto, inserito nel circuito principale, e dalle estremità del quale partono i due fili, che vanno al microfono M.

Come si vede, le varie disposizioni descritte (che non sono le sole possibili) possono, sull'esempio del Simon [13], classificarsi in due gruppi, secondo che il microfono agisce per induzione sul circuito dell'arco, come nella esperienza primitiva, oppure agisce sopra un ramo derivato della corrente principale. Per quanto possano aversi risultati eccellenti tanto con disposizioni del 1.° gruppo che con altre appartenenti al 2.°, sembra, che a queste ultime si debba dare la preferenza. Esse infatti

presentano due vantaggi: quello di non aver bisogno d'una pila speciale pel microfono, e quello di non doversi far uso di trasformatore. Quest'ultimo vantaggio è importante, giacchè quando un trasformatore interviene, l'intensità grande dei suoni e la perfetta riproduzione del loro timbro sono due fini, che non possono essere simultaneamente in alto grado raggiunti, e che anzi in certo modo si escludono a vicenda.

Per ottenere dall'arco suoni intensi occorre dare al medesimo la massima lunghezza. Duddell giunse ad adoperare archi di 10 centimetri di lunghezza, per ottenere i quali occorre una differenza di potenziale di oltre 200 volta; ma anche se la distanza fra le estremità dei carboni è solo di due o tre centimetri, gli effetti che si ottengono sono considerevoli, specialmente se si ha cura di adoperare carboni con anima, e impregnati preventivamente con una soluzione salina. Allo stesso scopo occorre naturalmente cercare, che la corrente nel microfono abbia la massima intensità, se non che non si può per un dato microfono oltrepassare una certa intensità di corrente, senza danneggiarlo. Giova dunque far uso di più microfoni in derivazione, cioè disposti in modo, che la corrente si suddivida fra essi; ma poi è necessario, secondo il Ruhmer, che ciascun microfono comunichi con uno speciale circuito di trasformazione, senza di che, stante la non identità di resistenza che essi presentano, le variazioni d'intensità di corrente provocate da ciascuno di essi possono essere compensate nel circuito della lampada, dalla modificata ripartizione della corrente nei vari circuiti parziali.

Quando la corrente, che alimenta la lampada ad arco, è fornita da una macchina dinamoelettrica, si possono produrre le variazioni di corrente, che fanno parlare l'arco, facendo agire il microfono, non già sul circuito della lampada, ma sul campo magnetico stesso della macchina.

Si sa, che nelle dinamo esiste una elettrocalamita di forma speciale animata da un rapido moto rotatorio presso i poli di

una elettrocalamita fissa. Quest' ultima, percorsa com' è da una corrente elettrica, genera un intenso campo magnetico, e per questo si svolge nel circuito ruotante una corrente indotta, che è quella che poi viene utilizzata. Ora è chiaro, che ogni variazione d'intensità del campo magnetico avrà per conseguenza una analoga variazione della corrente fornita dalla macchina, e se il microfono determina le debite variazioni del campo, l'arco alimentato dalla dinamo parlerà, e presumibilmente ad alta voce. Per produrre le variazioni del campo magnetico, si può inserire fra i due rocchetti formanti l'elettrocalamita fissa uno dei circuiti di un trasformatore, il secondo circuito del quale è chiuso con una pila ed un microfono.

Questa disposizione non differisce sostanzialmente da una, che fu descritta molti anni fa [14], e che doveva servire, non già a far parlare un arco voltaico, ma a far riprodurre con grandissima intensità da un telefono i suoni prodotti presso un microfono di forma speciale.

È verosimile, che questa disposizione dia i risultati notevoli che sembra promettere, specialmente poi introducendo qualche opportuna modificazione nelle macchine diamoelettriche attuali, particolarmente per ciò che riguarda la struttura del ferro delle elettrocalamite fisse. Mediante tale disposizione sarà facile trasmettere, da un impianto elettrico centrale, dei suoni o dei discorsi a tutte le lampade elettriche alimentate da una stessa dinamo, e realizzare così, ove lo si desideri, un risultato simile a quello della Gazzetta telefonica di Budapest.

Poichè l'arco voltaico serve come trasmettitore telefonico, non meno che come ricevitore, è facile comprendere, come due archi possono essere collegati in modo, che uno di essi riproduca i suoni generati in prossimità dell'altro.

Per ottenere un risultato abbastanza buono occorre prima di tutto collocare nel circuito di ciascuno dei due archi, e presso ogni carbone, un rocchetto d'autoinduzione, allo scopo di non

lasciar inutilmente disperdere, per così dire, le oscillazioni di corrente nel circuito. Poi si collega direttamente uno dei carboni di una lampada con uno dell'altra mediante un filo metallico, mentre si mettono i due carboni restanti in comunicazione colle due armature d'un condensatore di conveniente capacità.

Così facendo, le correnti dei due archi restano distinte, mentre le oscillazioni di corrente possono benissimo trasmettersi dall'uno all'altro mediante il circuito comprendente i quattro carboni ed il condensatore. È dunque possibile, servendosi di due lampade ad arco comunicanti fra loro nel modo descritto, o in qualche altra opportuna maniera, scambiare una conversazione fra due luoghi lontani, come si farebbe con un'ordinaria comunicazione telefonica.

Le esperienze fin qui descritte sono direttamente attinenti alla telefonia senza filo, di cui si tratterà nel paragrafo seguente. Le altre esperienze, che in questo saranno ancora brevemente riassunte, e che si riferiscono al così detto *arco musicale*, non hanno ricevuto finora una diretta applicazione alla trasmissione di segnali a distanza, ma sembrano suscettibili di essere anche a questo scopo utilmente impiegate. In pari tempo esse presentano un interesse rilevantissimo, perchè offrono il modo di ottenere con facilità correnti alternative di grande intensità e di frequenze assai grandi.

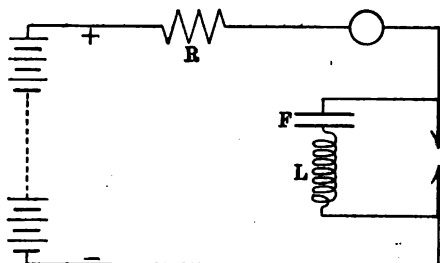



Fig. 254.

Si tratta del seguente fenomeno, osservato dal Sig. Duddell [15] nel corso delle sue esperienze relative alla luce parlante. Se dai carboni di un arco voltaico si fanno partire due fili, che li mettano in comunicazione colla armature d'un condensatore F (fig. 254) di capacità non troppo piccola, con interposizione d'un

rocchetto di autoinduzione L, subito quei fili sono percorsi da una intensa corrente alternativa, e l'arco emette un suono musicale, la cui altezza dipende dalla distanza fra i carboni, dalla capacità del condensatore, e dal valore della autoinduzione. Anzi, basta preparare vari condensatori, e varie autoinduzioni che, mediante una specie di tastiera, possano separatamente ed in successione inserirsi nel circuito derivato, per essere in grado di far produrre all'arco suoni di differenti altezze, e realizzare uno strumento musicale di nuovo genere.

Veramente, prima anche che da Duddell, una esperienza con disposizione simile a quella della fig. 254 era stata eseguita dal sig. Lecher [16], il quale vi fu condotto cercando di rendere palese una presupposta discontinuità nell'arco voltaico. Egli osservò la corrente alternativa nel circuito derivato contenente il condensatore, ed il fischio prodotto in pari tempo dall'arco voltaico, ma non diede importanza a tale fenomeno.

Per la buona riuscita dell'esperienza di Duddell è bene adoperare nella lampada dei carboni omogenei, e mantenerli a distanza reciproca molto piccola.

Non si saprebbe dare una completa e dettagliata spiegazione di questo curioso fenomeno, ma sembra tuttavia che possa paragonarsi a quello dei suoni, che nascono in un tubo sonoro munito d'imboccatura, per esempio, a linguetta o, se si vuole, a quello dei suoni prodotti da una fiamma introdotta in un tubo (come nell'antica *armonica chimica*). L'efflusso dell'aria nell'imboccatura (o quello del gas che alimenta la fiamma) non è uniforme, e le ineguaglianze, che in esso si manifestano, generano delle onde sonore, che si propagano nel tubo, e, riflettendosi alle sue estremità, tendono a produrre le onde stazionarie. Ma queste sono possibili solo a patto, che la lunghezza del tubo (supposto aperto alle estremità) sia eguale ad un multiplo della semionda; per cui il tubo risuona solo con certi periodi, e particolarmente con maggiore intensità pel maggiore fra essi, che è poi quello,

che corrisponde al suo suono fondamentale. Ammettiamo, che la corrente nell'arco non abbia intensità rigorosamente costante, ma che invece questa intensità subisca continuamente piccole variazioni, ciò che le ineguaglianze dei carboni valgono a spiegare. Le perturbazioni si propagheranno allora nel circuito derivato, e per una specie di risonanza, analoga a quella del tubo sonoro in cui si eccita il suono fondamentale, nasceranno oscillazioni elettriche di grande ampiezza, e col periodo che compete al circuito stesso. Queste oscillazioni elettriche agiranno sull'arco, come quelle che nelle antecedenti esperienze erano prodotte per mezzo di un microfono, e l'arco produrrà il suono di egual periodo.

Il prof. Peuchert [17] ha ottenuto lo stesso risultato del Duddell anche senza autoinduzione nel circuito derivato, o per meglio dire, riducendo l'autoinduzione del circuito a quella dei fili, coi quali le armature del condensatore, che in tal caso deve avere grandissima capacità, sono messe in comunicazione coi due carboni dell'arco. Quest'ultimo è bene sia cortissimo, e si formi tra carboni senz'anima.

Il circuito derivato è sede di una corrente alternativa, finchè l'arco risuona. Dalle misure eseguite da Peuchert risulta, che tale corrente può acquistare una intensità assai elevata. Per esempio, in una delle esperienze di Peuchert, mentre la differenza di potenziale dell'arco era di 55 volta, e la corrente, che lo alimentava, era di 6 ampère, la corrente oscillatoria nel circuito derivato raggiungeva l'intensità di 17 ampère. Le alternazioni si compievano in numero di 8788 per secondo. Si è dunque in possesso, mercè la disposizione descritta, di un metodo, col quale si ottengono colla massima facilità correnti alternative a rapidissime alternazioni e di grande intensità. Mercè tali correnti si possono quindi eseguire molte esperienze interessanti, quali quelle ben note, che furono descritte dal Tesla e da Eilhu Thomson, e che appunto mostrano i curiosi effetti delle correnti a rapide alternazioni. Queste correnti alternate differiscono da quelle pro-

dotte industrialmente dagli usuali alternatori, per la loro frequenza grandissima, che può divenir tale, che il suono dell'arco cessi di essere percepito. Si può dunque certamente superare la massima frequenza (17000) raggiunta con speciali disposizioni dal sig. Wien [18], e tutti gli effetti, che sono intimamente dipendenti dalla frequenza, assumeranno un grande rilievo.

D'altra parte, le correnti alternative ottenute colla disposizione del Duddell possono avere frequenze poco diverse da quelle adottate nella telegrafia per onde elettromagnetiche. Infatti, mano a mano che si è voluto estendere in questo sistema la portata della trasmissione, e che si è voluto accostarsi alla ideale sintonia, si è dovuto diminuire la frequenza, ossia aumentare la lunghezza d'onda. È quindi verosimile che, nella stessa telegrafia, sia possibile sostituire alle scariche oscillanti, fornite dagli oscillatori o dai condensatori, le oscillazioni durevoli del Duddell. Queste durano continuatamente finchè si vuole, e quindi sono prive di smorzamento, mentre le correnti alternative date dagli oscillatori durano un tempo brevissimo e sono fortemente smorzate. Colle prime sarebbe forse possibile il realizzare in modo perfetto la condizione di sintonia, che finora colle ultime non sembra si sia raggiunta, e che verosimilmente non è possibile si raggiunga.

67. **La telefonia senza filo.** — Si è detto nel precedente paragrafo, che il sig. Simon, concentrando sopra un ricevitore a selenio la luce emessa dall'arco voltaico parlante, aveva ottenuto la riproduzione delle parole pronunciate presso il microfono, da un telefono posto in circuito col selenio e con una pila. Con opportuni riflettori la distanza fra il selenio e la lampada ad arco può divenire assai grande, ed in tal modo si passa da una semplice esperienza di gabinetto ad un sistema di telefonia, nel quale la trasmissione dei segnali è dovuta, non già ad una corrente ondulatoria lungo un filo teso da una stazione all'altra,

ma bensì ad un fascio di luce a variabile intensità, propagantesi attraverso l'aria atmosferica.

La fig. 255 mostra schematicamente la connessione dei vari apparecchi in ciascuna delle due stazioni. Nella stazione tra-

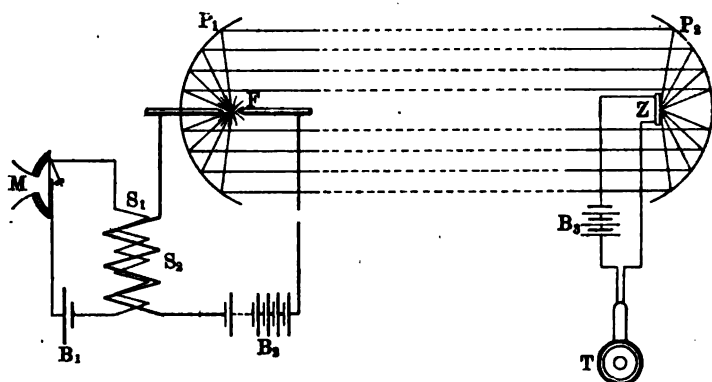



Fig. 255.

smettitrice si trova il microfono M, messo in circuito colla pila B_1 e con uno dei fili S_1 d'un trasformatore. L'altro filo S_2 di questo è nel circuito della pila B_2 e dell'arco voltaico F, posto nel fuoco d'uno specchio parabolico P_1, e di cui il carbone negativo è dalla parte dello specchio. Nella figura non sono indicati il rocchetto d'autoinduzione, il condensatore ed il reostata; ma si deve intendere, che la disposizione degli strumenti sia una di quelle indicate come migliori nel precedente paragrafo. Potrebbe anzi essere adottata una di quelle, nelle quali si fa a meno di trasformatore.

Nella stazione ricevente si trova pure uno specchio concavo P_2, nel fuoco del quale è collocato il piccolo apparecchio a selenio Z, messo in circuito con una pila B_3 ed un telefono T. Allo specchio concavo venne sostituito qualche volta una grande lente convergente. Qui pure, alla disposizione indicata dalla figura si può immaginare sostituita quella, che sarà descritta più avanti, e rappresentata dalla fig. 256. Naturalmente i due specchi P_1 e

P_2 devono essere rivolti esattamente l'uno verso l'altro, in modo cioè che i loro assi sieno su di una stessa retta, condizione questa evidentemente indispensabile, e che non è difficile soddisfare dopo pochi tentativi.

La disposizione, preferita dal Simon nella stazione ricevente, è rappresentata nella fig. 256, ed ha lo scopo di far giungere al telefono le variazioni di corrente, prodotte dall'azione della luce sul selenio, senza che esse inutilmente si disperdano, come si è detto, nelle altre parti del circuito. L'artificio, che permette di raggiungere questo scopo, è sempre quello impiegato da Duddell. Nel circuito della pila BB e del selenio Z non è inserito che un rocchetto di autoinduzione I, mentre il telefono T è inserito in un circuito posto in derivazione ai poli dell'apparato a selenio, ed interrotto da un condensatore C di opportuna capacità.

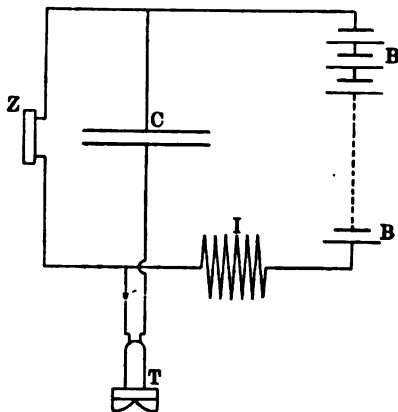



Fig. 256.

All'esperienza descritta di telefonia senza filo si sono poi introdotte delle varianti. Così, all'esposizione elettrotecnica di New York del 1899 fu eseguita una esperienza, nella quale, invece dell'apparato a selenio, si aveva nella stazione ricevente un ricevitore radiofonico simile a quelli di Mercadier [19]. Infatti, al fuoco dello specchio concavo della stazione ricevente era collocato un semplice palloncino di vetro pieno di filamenti di carbone, dalla bocca del quale partivano dei tubi di gomma da applicarsi all'orecchio. Sembra che, con una distanza di 120 metri fra le due stazioni, i suoni alla stazione ricevente avessero un terzo della intensità, che possedevano alla stazione trasmettitrice.

D' altra parte il sig. Ruhmer [20] ha inventato un apparato da sostituire all'arco parlante nella stazione trasmettitrice. Ecco in che consiste. Alla lamina di un telefono è fissato un blocco di calce o di zirconia, che, lambito dalla fiamma di un becco ossidrico, diviene vivamente luminoso, formando la così detta luce Drummond. È noto, che l' intensità di questa luce varia grandemente, per poco che si sposti il blocco refrattario rispetto alla punta della fiamma. Ne consegue che, quando il telefono riceva le correnti ondulatorie d'un microfono, il blocco vibrerà, e ciò darà luogo ad analoghe oscillazioni nella intensità della luce da esso emessa. Il sig. Ruhmer ha ottenuto con tale nuovo trasmettitore risultati assai buoni; ma non dice, perchè non abbia fatto vibrare direttamente, mediante i suoni da trasmettersi, la laminetta portante il blocco di calce o di zirconia. La riescita dell'esperienza farebbe credere, che le variazioni nell' incandescenza della calce o della zirconia dovute ai piccoli cambiamenti di distanza dalla fiamma, si compiano con una grandissima rapidità.

Lo stesso Ruhmer ha pure descritto un apparecchio ricevitore da sostituirsi a quello col selenio. Esso è una specie di radiofono e in pari tempo di coherer, costituito da un tubetto di vetro a sottili pareti contenente dei frantumi di filamenti di carbone da lampade, oppure dei granelli di carbone, oppure ancora della limatura metallica affumicata, fra due elettrodi di carbone o di metallo. Il tubetto è messo nel circuito della stazione ricevente al posto dell' apparato a selenio, e, secondo il Ruhmer, produrrebbe i medesimi effetti, in causa del riscaldamento delle particelle di carbone prodotto dalle onde luminose, e delle vibrazioni, che le particelle stesse assumono, le quali vibrazioni fanno poi variare la resistenza opposta dal sistema alla corrente elettrica. Infine il Ruhmer propone anche l' uso di un bolometro, come apparato ricevitore da adoperarsi al posto del selenio.

Sembra però che i risultati forniti dalla disposizione di Simon e Reich sieno i migliori. Certo è, che questi fisici hanno potuto

realizzare la trasmissione telefonica alle maggiori distanze, traendo profitto dallo studio accurato da essi fatto intorno alle condizioni sperimentali, che hanno influenza sulla entità dei fenomeni prodotti, e combinando assieme le più favorevoli allo scopo che si erano proposti.

L'arco parlante ha un'importanza principale. Si è già notato, che quando l'arco deve servire solo a generare suoni intensi, è bene che la differenza di potenziale fra i carboni sia molto elevata, e la distanza fra le loro estremità sia la massima possibile, ciò che ben si comprende riflettendo, che in certo modo l'arco voltaico, o meglio la massa gassosa incandescente che esiste fra i due carboni, costituisce il corpo sonoro. Nel caso attuale ciò che importa di esagerare, per quanto è possibile, è la variazione d'intensità luminosa dovuta alle correnti ondulatorie create dal microfono, mentre l'intensità media della luce medesima non ha importanza. Si può anzi aggiungere che, a parità di variazioni dell'intensità luminosa, è preferibile che questa intensità abbia un valore medio assai piccolo, in quanto che è noto, che una stessa differenza nell'intensità di illuminazione del selenio produce variazioni di resistenza tanto più marcate, quanto minore è l'intensità luminosa iniziale. In altri termini è noto, che la sensibilità del selenio alla luce decresce al crescere dell'intensità della illuminazione. Per conseguenza, nella telefonia senza filo meglio è far uso di un arco assai corto, e di una corrente relativamente debole. Così, una corrente di due o tre ampère fra carboni, dei quali il positivo sia grosso 5 millimetri ed il negativo 3 millimetri, è convenientissima nel caso attuale.

È noto, che nell'arco voltaico i due carboni, e soprattutto quello positivo, continuamente si consumano, e che in particolare si forma una cavità, detta *cratere*, nel carbone positivo, la quale emette una intensissima luce. Simon e Reich hanno riconosciuto, che le variazioni d'intensità luminosa utilizzate nell'applicazione

di cui trattiamo, hanno la loro sede precisamente nel cratere, mentre la massa gassosa costituente l'arco voltaico non prende quasi parte alcuna nel fenomeno. È la luce emessa dal carbone positivo, che varia d'intensità in modo da corrispondere sempre con meravigliosa esattezza ai valori istantanei dell'intensità della corrente. Ora, dalle osservazioni numerose dei citati autori risulta, che una stessa variazione percentuale dell'intensità della corrente, produce una variazione dell'intensità luminosa del cratere relativamente più grande, quando si adoperano correnti deboli, che quando se ne adoperano delle intense. Anche per questo non bisogna dunque far uso di correnti troppo forti.

Si aggiunga ancora, che un arco voltaico debole offre una sorgente luminosa di piccole dimensioni, ed i raggi da essa emessi sono tutti rinviati in un fascio parallelo da un riflettore parabolico lavorato con perfezione, come quelli della casa Schuckert adoperati da Simon e Reich. Con tali proiettori non si aumenta che assai poco l'intensità del fascio riflesso, quando ad un piccolo arco se ne sostituisce uno ottenuto con una corrente di grande intensità, giacchè in questo caso la sorgente luminosa acquista maggiori dimensioni, e non può più considerarsi come situata tutta intera nel fuoco dello specchio, o abbastanza vicina al medesimo. Secondo i nostri autori, un arco, ottenuto con una corrente di 150 ampère, darebbe un fascio riflesso appena quattro volte più intenso di quello, ottenuto con un arco alimentato da una corrente di 4 ampère. Si ha dunque un altro motivo per limitare assai l'intensità della corrente nell'arco parlante, quando deve servire alla telefonia.

Importanza grandissima sui risultati ha pure l'apparato a selenio. Naturalmente è bene, che la sua resistenza sia piccola, e che la variazione di resistenza prodotta dalla illuminazione sia la massima possibile. Ora, tanto la resistenza nell'oscurità, quanto la sensibilità alla luce, dipendono molto dalla struttura dell'apparato a selenio, e dal modo nel quale questo corpo fu trattato.

Disgraziatamente, non si è sempre padroni di ottenere il risultato che si desidera, e si è quasi sempre costretti a fabbricare varî apparecchi a selenio, per scegliere poi quello che offre la minor resistenza e la maggiore sensibilità. Simon e Reich annunziano di essere sulla via di perfezionare la costruzione degli apparati a selenio, ed intanto ne hanno adoperato con successo alcuni, forniti dalla casa Clausen e von Bronk di Berlino, e altri del sig. Giltay di Delft, i quali ultimi sembrano i migliori. Alcuni di essi, infatti, hanno la loro resistenza, pure non molto elevata, ridotta a meno della metà quando vengono illuminati da due candele poste ad un metro di distanza.

La resistenza dell'apparato a selenio è sempre però alquanto elevata, ragione per cui fa duopo adoperare nella stazione ricevente una pila, o batteria di accumulatori, di grande forza elettromotrice. Questa fu sempre di 50 a 120 volta. Naturalmente, il rocchetto del telefono dovrà contenere molti giri, e cioè essere di filo molto lungo e sottile.

Alle esperienze di laboratorio i sig. Simon e Reich fecero seguire delle prove fra stazioni lontane. Così, in occasione della 73.ª adunanza della Società dei Naturalisti, tenuta nell'autunno del 1901 in Amburgo, fu fatta una esperienza fra stazioni lontane circa un chilometro l'una dall'altra. Sul tetto del Liceo Guglielmo era collocato l'arco trasmettitore, munito di proiettore Schuckert di 90 centimetri di diametro e 32 centimetri di distanza focale, mentre l'apparato ricevitore, al quale pure era annesso uno specchio concavo, era collocato nel Laboratorio di Fisica dello Stato. Le esperienze furono fatte la sera del 23 settembre 1901, ed ebbero pieno successo. Altre esperienze furono fatte a Norimberga con 1200 metri di distanza fra le stazioni, e la riescita fu tale, che certamente anche con una distanza tripla sarebbe stato possibile verosimilmente una chiara trasmissione delle parole. Più recentemente a Gottinga l'esperienza fu ripetuta sopra una distanza di 2500 metri, ed il suc-

cesso fu ancora buonissimo, tanto che si comprese di essere ancora lungi dal limite di distanza, che, con questo sistema di trasmissione senza filo, è possibile raggiungere. È dunque lecito il supporre, che gli ulteriori perfezionamenti potranno aumentarne ancora di molto la portata.

Il sistema di telefonia senza filo ora descritto ha in comune col sistema telegrafico del Zickler i vantaggi e i difetti stessi, in rapporto alla telegrafia sistema Marconi. Ha in più il vantaggio della rapidità delle trasmissioni, e il difetto di non raccogliere traccia permanente delle trasmissioni stesse.

A questo difetto tenderebbero a provvedere certe recenti esperienze del sig. Ruhmer [21]. Questo esperimentatore ha tentato infatti, e con un certo successo, di registrare le frasi trasmesse ricorrendo al telegrafono di Poulsen [22], il quale strumento è atto a ripeterle quante volte si vuole, a guisa di un ordinario fonografo.

Il telegrafono di Poulsen comprende essenzialmente un filo d'acciaio animato da un moto uniforme nella propria direzione, che tocca, passando, il polo di una minuscola elettrocalamita, il cui filo è inserito nel circuito di un microfono. Le variazioni d'intensità della corrente, da questo prodotte, danno luogo a corrispondenti variazioni nella magnetizzazione della calamita, e quindi ad una magnetizzazione del filo d'acciaio variabile da punto a punto lungo il medesimo. Facendo ripetere al filo il proprio moto, dopo aver sostituito al microfono un telefono, questo fa sentire una perfetta riproduzione dei suoni, che furono prodotti presso il microfono. Ciò si spiega facilmente considerando, che la magnetizzazione prodotta lungo il filo d'acciaio nella prima parte dell'esperimento, fa nascere correnti indotte nella piccola elettrocalamita, le quali fanno parlare il telefono, obbligandolo a riprodurre i suoni originali.

Basta porre la piccola elettrocalamita nel circuito del selenio alla stazione ricevente, perchè il filo d'acciaio conservi una

registrazione autentica dei suoni trasmessi da una stazione all'altra mediante il fascio luminoso emesso dall'arco parlante, e possa ripeterli ogni volta che lo si desideri.

Merita infine d'essere citata una bella esperienza del medesimo Ruhmer [23], dalla quale si potrebbe pure ricavare un mezzo di registrazione delle trasmissioni fototelefoniche. Egli illumina colla luce dell'arco parlante una stretta fenditura, e fotografa la luce, che per essa passa, sopra una pellicola sensibile posta in rapido moto, come se si trattasse di preparare una fotografia per cinematografo. Le variazioni di intensità luminosa dell'arco parlante si traducono così in variazioni di opacità lungo la pellicola. Se quindi, terminate le operazioni fotografiche, questa viene messa di nuovo in moto colla velocità di prima in un apparato di proiezione, precisamente come se si trattasse di proiettare una immagine mobile da cinematografo, e si fa cadere la luce passante per la pellicola sopra un apparato a selenio messo in circuito con una pila ed un telefono, le variazioni di opacità della pellicola secondo la sua lunghezza si tradurranno in variazioni di corrente, e quindi in suoni dati dal telefono. Questo strumento ripeterà allora fedelmente i suoni, che furono prodotti nella prima esperienza presso il microfono connesso all'arco parlante.

Ad ogni modo, la telefonia senza filo di Simon e Reich potrà forse svilupparsi, anche senza registrazione permanente dei dispacci; è anzi probabile che, come si disse per la telegrafia con radiazioni ultraviolette, essa trovi un campo di applicazione sul mare, visto che le navi ed i fari posseggono generalmente di già quanto principalmente occorre per fare l'arco parlante, tanto più che l'arco stesso può in pari tempo adempiere all'ufficio di illuminazione, pel quale è principalmente destinato.

A. Righi.

Citazioni bibliografiche.

[1]) A. Righi, L'Elettricista, 15 ottobre 1878; Il N. Cimento, 3.ª serie, t. 4, p. 233 (1878).
[2]) Willoughbs Smith, Silliman 's Journal 1873, p. 301,
[3]) A. Righi, Il N. Cimento, 3.ª serie, t. XXV, p. 226 (1889).
[4]) A. Righi, Il N. Cimento, 3.ª serie, t. XXIV, p. 123 (1888).
[5]) Mercadier, Comp. Rend., t. 92, p. 705 (1881).
[6]) Hermann Th. Simon, Wied. Ann., t. 64, p. 233 (1898).
[7]) F. J. Jervis Smith, The Electrician, october 27, 1899, p. 16.
[8]) H. T. Simon, Physik, Zeitschr. 26 januar 1891, p. 253.
[9]) O. Hartmann, Elek. Zeitschr. 1899, p. 369.
[10]) F. Braun, Wied. Ann. t. 65, p. 358 (1898).
[11]) Ernst Ruhmer, Psysik. Zeitschr. 23 februar 1901, p. 325.
[12]) W. Duddel, The Electrician, december 14, 1900, p. 269.
[13]) H. T. Simon und M. Reich, Psysik. Zeitschr. 1 april 1902, p. 278.
[14]) Th. Du Moncel, Le microphone, p. 268, Paris, Hachette et C.
[15]) Duddell, The Electrician, december 21, 1900, p. 310.
[16]) Ernst Lecher, Wied. Ann., t, 33, p. 609 (1888).
[17]) W. Peuchert, Elektr. Zeitschr., 1901, p. 467.
[18]) M. Wien, Drude 's Ann., t. 4, p. 425 (1901).
[19]) . . . Der Mechaniker, t. 7, p. 236 (1899).
[20]) E. Ruhmer, Phys. Zeitschr., 2 marz 1901, p. 339.
[21]) E. Ruhmer, Elek. Zeitschr., t. 22, p. 196 (1901).
[22]) V. Poulsen, Drude 's Ann., t. 3, p. 754 (1900).
[23]) E. Ruhmer, Drude 's Ann., t. 5, p. 803 (1901).

APPENDICE

Le recenti esperienze a distanze grandissime.

Nel § 60 abbiamo accennato brevemente alla possibilità di una comunicazione telegrafica, mediante onde elettriche, tra il vecchio ed il nuovo mondo. Nel poco tempo trascorso, dacchè quelle pagine furono scritte, si è fatto un grande passo in avanti, giacchè, invece di limitarsi a pochi segnali prestabiliti emessi dalla potentissima stazione generatrice di Poldhu in Cornovaglia, e ricevuti dagli apparecchi della stazione di St. John (Newfoundland), il Sig. Marconi è riuscito a trasmettere dei dispacci completi, tanto in un senso quanto nell'altro, fra la detta stazione di Poldhu e due stazioni, pure di grande potenza, stabilite dall'altro lato dell'Atlantico, l'una a Table Head, vicino a Glace Bay, sulla costa dell'isola di Capo Breton (Nuova Scozia), l'altra a Capo Cod, sulla costa degli Stati Uniti. Inoltre fra poco anche l'Italia, la quale pure sta per allestire delle stazioni radiotelegrafiche di grande potenza, sarà pronta ad entrare in comunicazione diretta con paesi lontanissimi.

Gli apparecchi adoperati nelle tre indicate stazioni sono simili fra loro, e non diversificano da quelli esistenti antecedentemente a Poldhu che per alcune modificazioni.

Ciascuna delle tre stazioni possiede quattro torri in legno alte 71 metri, e poste ai vertici di un quadrato di circa 170

metri di lato, le quali reggono, come si vêde nella fig. 257, il sistema dei fili, che fa da antenna trasmettitrice o ricevitrice. A tale scopo le cime delle torri, che sono rinforzate e trattenute in posto mediante cavi d'acciaio, sono riunite da quattro

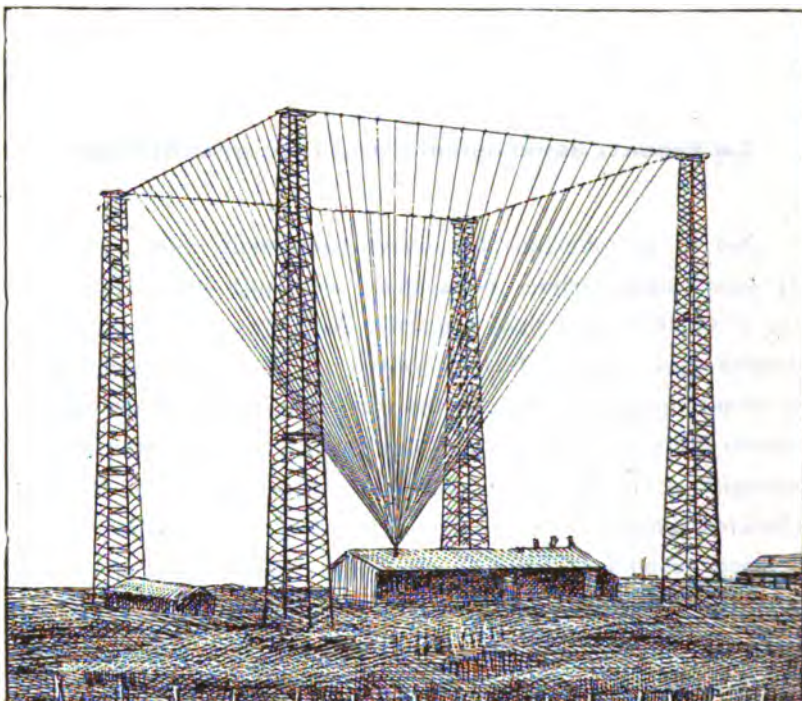



Fig. 257

cavi, ciascuno dei quali sorregge 50 corde di rame, costituite ognuna da 7 fili. Tutte queste corde scendono in direzione obliqua, e fanno capo ai lati di un quadrato assai più piccolo di quello superiore, tanto che l'assieme delle corde forma un tronco di piramide capovolto. Questa disposizione alquanto complessa, oltre che ad aumentare, come già dicemmo in altro luogo, l'attitudine all'emissione e all'assorbimento delle onde elettriche, ha anche

lo scopo di contribuire efficacemente alla sintonia tra gli apparecchi trasmettitore e ricevitore.

Il quadrato inferiore del sistema descritto, come ben si intende, è in comunicazione cogli apparecchi, collocati nel casotto sottostante. L'energia elettrica del generatore d'onde è fornita, alla stazione di Poldhu, da una macchina a corrente alternata, attivata da un motore di 31 cavalli; la stazione di Capo Cod, ove si ha intenzione di tentare esperienze con distanze anche superiori a quella che separa l'Europa dall'America, dispone di un motore e di un generatore ancora più potenti. La parte essenziale dell'apparecchio ricevitore è costituita, nelle tre stazioni, dal rilevatore magnetico inventato da Marconi, di cui a pag. 369 fu data la descrizione.

Il 21 dicembre dell'anno passato, dei dispacci d'inaugurazione furono emessi dalla stazione di Capo Breton, e diretti ai sovrani d'Inghilterra e d'Italia; un altro dispaccio fu spedito al « Times » da un suo corrispondente, che presenziava l'inaugurazione, ed infine un dispaccio in conferma di quelli precedenti fu trasmesso da Marconi stesso all'Agenzia Stefani. Poche settimane dopo, anche la stazione di Capo Cod si trovò pronta a funzionare, e per mezzo di essa fu mandato nn dispaccio al Re d'Inghilterra dal Presidente degli Stati Uniti.

La distanza tra Poldhu e Capo Cod è un po' maggiore di quella, che separa Poldhu da Capo Breton; cosicchè il limite, al quale possono giungere ad essere raccolti i segnali trasmessi mediante onde elettriche, ha oramai superato i 5000 chilometri.

Per chi ha seguito i progressi successivi fatti fare da Marconi alla telegrafia senza filo, la realizzazione delle comunicazioni transatlantiche non poteva essere una sorpresa. Dal momento che era dimostrato, che le onde hertziane possono varcare, seguendo la curvatura della superficie terrestre, l'enorme distanza che separa il vecchio dal nuovo mondo, tutto il resto, oltrecchè dalla potenza degli apparecchi, non dipendeva più che

dal perfezionamento dei dettagli, nel quale il genio di Marconi si è sempre mostrato altrettanto fecondo, quanto era stato ardito nel dedicarsi alla realizzazione del nuovo mezzo di comunicazione. Ma, per quanto splendidi siano i risultati già ottenuti dalla telegrafia senza filo nei pochi anni della sua esistenza, non conviene disconoscere i vantaggi peculiari dell'antica telegrafia, particolarmente nel caso delle grandi distanze. Ed in particolare, la telegrafia nuova sembra essere tuttora inferiore a quella per mezzo dei cavi sattomarini in quanto alla potenzialità, giacchè con questi si riesce a trasmettere un numero molto maggiore di parole in un dato tempo. Inoltre, si può coi cavi lavorare ugualmente di giorno e di notte, mentre, come sappiamo dal Marconi stesso, le comunicazioni radiotelegrafiche riescono facili e sicure specialmente nelle ore notturne. Si aggiunga poi, che il commercio, prima di dare la preferenza alle onde hertziane di fronte ai cavi sottomarini, richiederà forse le stesse garanzie, riguardo alla sicurezza della trasmissione ed al segreto dei dispacci, che gli sono offerte dal sistema di telegrafia attualmente in uso.

È assai interessante, dal punto di vista dell'avvenire prossimo della telegrafia senza filo, il risultato delle esperienze eseguite nell'estate scorsa, tra la stazione trasmettente di Poldhu e l'incrociatore *Carlo Alberto*, durante il viaggio di quest'ultimo a Cronstadt, ed il suo ritorno nelle acque italiane.

Di queste esperienze fu fatto cenno altrove (§ 48); ma nel frattempo è stata pubblicata intorno ad esse nella « Rivista Marittima » una Relazione, redatta dal tenente di vascello Solari, e ne riproduciamo qui i punti più importanti.

La stazione ricevitrice era istallata sulla *Carlo Alberto*. Essa comprendeva due coherer Marconi a polvere metallica, convenientemente collegati con un trasformatore accordato al periodo delle oscillazioni elettriche irradiate dalla stazione trasmettente di Poldhu, come pure tre dei rivelatori magnetici da poco

inventati dal Marconi, Per mezzo dei coherer, i segnali in arrivo venivano registrati da una ordinaria macchina Morse, mentre ciascuno dei rivelatori magnetici era accoppiato ad un telefono.

Per raccogliere le onde servì dapprima il così detto padiglione aereo, rappresentato nella fig. 258. Esso era costituito da

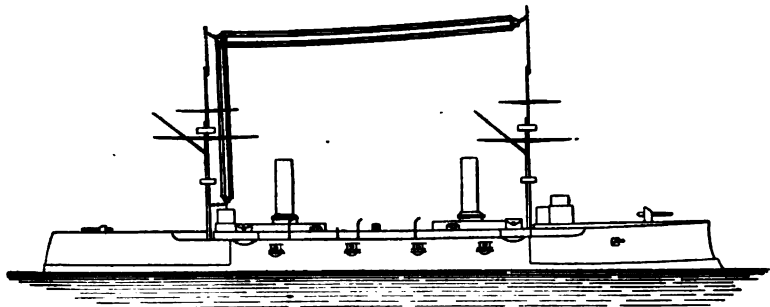



Fig. 258.

quattro fili tesi tra la punta di un alberetto di 16 metri, che prolungava l'albero di trinchetto, e la testa dell'albero di maestra, lungo al quale i detti fili discendevano poi sin presso al casotto, ove erano messi in comunicazione cogli apparecchi ricevitori in esso contenuti. L'intero sistema conduttore era accuratamente isolato con porcellana o ebanite.

In seguito però, mentre la nave si trovava davanti a Cronstadt, alla disposizione descritta ne venne sostituita un'altra, coll'intento di accordare meglio il periodo di oscillazione del ricevitore con quello dell'oscillatore di Poldhu.

La nuova disposizione, che si vede nella fig. 259, era formata da 50 fili di rame sottili, disposti a guisa di ventaglio, e sorretti da una draglia di acciaio distesa tra la testa dell'albero di maestra e quella dell'albero di trinchetto. L'altezza degli alberi, la quale dapprincipio era di 45 metri, durante il ritorno in Italia fu portata a 52 metri.

La stazione trasmettente era quella di Poldhu, della quale abbiamo già parlato.

Le esperienze radiotelegrafiche da eseguirsi erano regolate nel modo seguente. Dalle 12 alle 13 (tempo medio di Greenwich) di ogni giorno, e dalle 1 alle 3 di ogni notte, la stazione

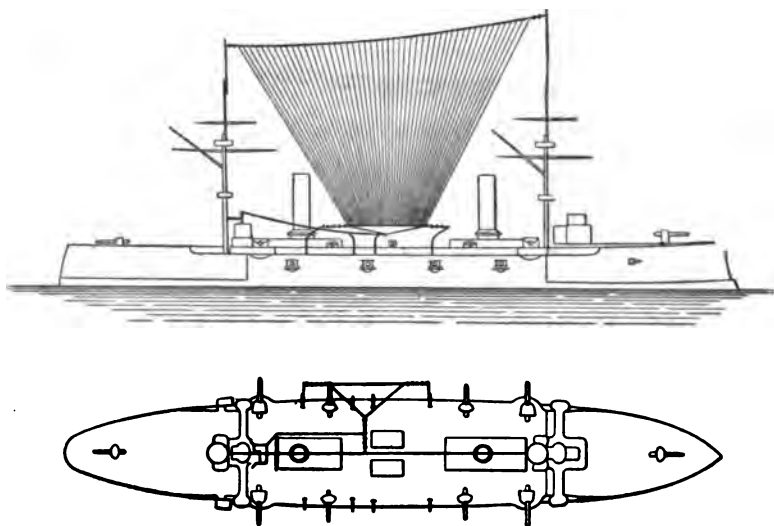



Fig. 259.

di Poldhu doveva trasmettere durante i primi dieci minuti di ogni quarto d'ora le iniziali C e A *(Carlo Alberto)*, una lunga serie di S, ed una frase riguardante le più interessanti notizie pubbliche del giorno.

A mezzogiorno del 7 luglio, le esperienze cominciarono sotto la direzione personale di Marconi, mentre la *Carlo Alberto*, in rotta verso nord-est, era lontana da Dover di circa 500 miglia marine, per la maggior parte su terra ferma. Alle 12 e 5 minuti, non appena ottenute discrete condizioni di sintonia, si udirono nel telefono accoppiato al rivelatore magnetico i ritmici S. I segnali, in conseguenza dell'imperfetta sintonia e dell'influenza nociva della luce solare, non furono molto intensi; tuttavia,

alcuni dispacci furono ricevuti anche coll'apparecchio Morse unito al coherer.

Nel pomeriggio dello stesso giorno la *Carlo Alberto* entrò pure in comunicazione radiotelegrafica colle stazioni della « Marconi 's Wireless Telegrah Company », sparse sulla costa orientale inglese; vennero trasmessi dei radiotelegrammi in diverse parti dell'Europa e fu mantenuto continuamente informato il Ministero della Marina in Roma del procedere della navigazione.

Nella notte successiva la *Carlo Alberto* era già a 900 chm. da Poldhu; ma ciononostante il rivelatore magnetico riprodusse chiaramente i segnali emessi dalla stazione trasmettente, ed anche l'apparecchio Morse potè funzionare regolarmente. Anzi, la trasmissione, non essendovi l'influenza perturbatrice della luce del giorno, riuscì meglio che nella giornata precedente. A mezzodì del giorno 8 luglio, la *Carlo Alberto* trovandosi a circa 1000 chm. da Poldhu, questa influenza tornò a farsi sentire, tanto che l'apparecchio Morse, che doveva essere messo in azione dal coherer, non funzionò affatto, e nel telefono congiunto al rivelatore magnetico si udirono soltanto i segnali di qualche S. Invece nella notte seguente i segnali divennero nuovamente più distinti, e telegrammi chiarissimi furono registrati anche dall'apparecchio Morse, benchè, non solo fosse aumentata la distanza da Poldhu, ma inoltre la parte settentrionale della Danimarca e tutta l'Inghilterra fossero allora interposte fra la *Carlo Alberto* e la stazione trasmettente.

Nella notte del 12 luglio, mentre la nave era davanti a Cronstadt, i segnali percepiti al telefono riuscirono alquanto deboli. Fu di ciò ricercata la causa nella minore conducibilità dell'acqua dolce di quella rada rispetto all'acqua salata dell'Oceano, il che poteva rendere meno efficace la comunicazione col suolo. Mediante la modificazione, già descritta, del sistema raccoglitore delle onde, si riuscì però a restituire ai segnali la primitiva chiarezza.

Alle ore 1 del 23 luglio, mentre la nave, tornando da Cronstadt, trovavasi a N. E. dell' isola di Gotland nel Baltico in rotta per Kiel, si ottennero al telefono del rivelatore segnali così distinti, che riusciva difficile il credere, che duemila chilometri circa di mare e di terra fossero interposti fra la *Carlo Alberto* e la potente stazione di Cornovaglia.

Verso le due antimeridiane della stessa notte il ricevimento dei segnali cominciò ad essere disturbato da frequenti scariche atmosferiche; col ricevitore Morse non fu più possibile ottenere con sicurezza e costanza i radiotelegrammi in arrivo, ma nel telefono del rivelatore magnetico si distinsero così bene i segnali fra l' una e l' altra scarica atmosferica, che si poterono benissimo decifrare i telegrammi trasmessi da Poldhu. Applicando poi al filo aereo, dice la Relazione, opportuni circuiti derivati di differente periodo di oscillazione, si riuscì ad escludere quasi completamente ogni perturbazione provocata da scariche atmosferiche.

Alle ore 2 e 30 minuti i segnali s' indebolirono ad un tratto in modo rilevante e dopo sparirono del tutto. Si pensò allora che fosse conveniente di meglio rivolgere verso la stazione di Poldhu la superficie a ventaglio formata dai fili aerei, onde raccogliere nuovamente i segnali; ma un movimento fatto eseguire alla nave a tale scopo non ebbe nessun effetto. Più tardi, i segnali ritornarono distinti ma con una certa incostanza, e alle 2 e 25 si ricevettero in modo chiarissimo le ultime comunicazioni.

Il giorno 24 luglio, mentre la nave si trovava ancorata nella parte più interna della rada di Kiel, il ricevimento dei radiotelegrammi cominciò ad essere così stabile e distinto, che non fu più necessario ricorrere al rivelatore magnetico, ma tutti i messaggi trasmessi dall'Inghilterra furono perfettamente registrati sulla zona del ricevitore Morse.

Risultati notevoli furono pure ottenuti nell' ultima parte del viaggio, e cioè durante il ritorno in Italia. Sarebbe però troppo

lungo il voler enumerarli tutti; rileviamo soltanto, che la *Carlo Alberto* ricevette dei segnali, anche quando si trovava nel porto di Cagliari, a più di 1580 chm. dalla stazione trasmettente, e che ad una distanza pochissimo inferiore a questa si poterono registrare ancora dei telegrammi completi.

Dall'assieme di questi fatti il Solari giunge a conclusioni, che riproduciamo testualmente:

« 1. Non vi è distanza che limiti la propagazione di onde » elettriche sopra la superficie terracquea del globo, quandó » l'energia di trasmissione impiegata è proporzionata alla » distanza da raggiungere.

» 2. Le terre interposte fra una stazione radiotelegrafica » trasmettente e quella ricevente non interrompono la rispet- » tiva loro comunicazione.

» 3. La luce solare ha l'effetto di diminuire il campo di » irradiazione delle onde elettriche, e rende quindi necessario » l'impiego di maggiore energia di giorno che di notte.

» L'influenza delle scariche elettriche obbliga a diminuire » la sensibilità degli apparecchi, affine di renderli indipendenti » da esse; in pari tempo obbliga ad un aumento di energia » nella trasmissione, onde ottenere effetti stabili con apparecchi » meno sensibili.

» 4. L'efficienza del *detector* (rivelatore) magnetico è stata » dimostrata da queste positive esperienze superiore a quella » di qualsiasi *coherer*, e ciò, non solo per la nessuna necessità » di regolazione, ma anche per l'assoluta costanza di funziona- » mento, e per la immensa praticità e sensibilità del sistema.

» 5. La telegrafia senza fili sistema Marconi è entrata, » mercè le ultime innovazioni, nel campo delle maggiori appli- » cazioni pratiche, sia commerciali che militari, senza limite » di distanze ».

Sin qui la relazione del sig. Solari. Delle sue conclusioni, le prime tre collimano con quelle, che risultavano dalle esperienze

anteriori di Marconi e di altri inventori. In quanto al *detector* o rivelatore magnetico, ci vorranno forse prove più lunghe per decidere con sicurezza, se questo apparecchio, la superiorità del quale sembra si riveli più che altro nella trasmissione a distanze rilevanti, possa essere chiamato a sostituire completamente il *coherer*.

Un altro risultato poi, e certamente non il meno importante, delle prove fatte sulla *Carlo Alberto*, sarebbe, secondo il signor Solari, la dimostrazione della praticità della telegrafia senza filo per qualunque distanza. Su questo punto però è dovere di cronaca il far conoscere le osservazioni, che il sig. Maskelyne, direttore di una stazione radiotelegrafica a Porthcurnow, distante 18 miglia inglesi da Poldhu, ha raccolte durante le esperienze di Marconi fra Poldhu e la *Carlo Alberto*. Nel numero del 7 novembre 1902 del giornale « The Electrician », il signor Maskelyne riferisce, che i segnali e i telegrammi emessi dalla stazione di Poldhu, e destinati alla *Carlo Alberto*, furono registrati dagli apparecchi di Porthcurnow così fedelmente, da costringere quasi il personale di quest'ultima stazione a seguire passo a passo l'andamento di quelle esperienze.

Orbene, dalle registrazioni ottenute col ricevitore Morse di Porthcurnow risulta fra altro, stando a quanto dice il signor Maskelyne, che un dispaccio, il quale secondo la relazione Solari fu registrato sulla zona del ricevitore Morse della *Carlo Alberto* la mattina del 9 settembre, mentre la nave era in rotta da Cagliari per Spezia, era stato emesso ripetutamente, sin dalla sera del 6 settembre, dalla stazione trasmettente di Poldhu.

Per due intere giornate l'organo ricevitore collocato sulla *Carto Alberto* non sarebbe dunque stato in grado di raccogliere quel dispaccio. Perciò, ammessa l'attendibilità di questo fatto, bisognerebbe concludere, che la trasmissione a distanze grandissime, anche coll'impiego di quantità di energia così rilevanti, come quelle di cui si dispone a Poldhu, dipenda in parte da

certi fattori ancóra completamente o quasi ignoti, tanto che non si potrebbe contare con sicurezza sul risultato finale.

Ma il fatto, che i segnali emessi da Poldhu vennero registrati anche a Porthcurnow dimostrerebbe pure, come in pratica si sia ancora lontani dal raggiungere lo scopo, al quale si tende colla sintonia. Dalle registrazioni avute sulla zona dell'apparecchio Morse di Porthcurnow risulterebbe anzi, che la stazione di Poldhu, allo scopo di rendere meno intelligibili i suoi dispacci ad ogni ricevitore estraneo, abbia dovuto ricorrere al noto stratagemma, di far agire contemporaneamente al trasmettitore propriamente detto, un altro generatore di onde più o meno intense, le quali, senza poter turbare l'azione del trasmettitore sul ricevitore lontano, dovevano impedire ad altri più vicini l'intelligenza dei dispacci.

Infine, e questo costituisce forse la circostanza più grave, le osservazioni fatte a Porthcurnow dal sig. Maskelyne metterebbero in evidenza quali perturbazioni le esperienze, del genere di quelle tra Poldhu e la *Carlo Alberto*, non possono a meno di arrecare alle comunicazioni radiotelegrafiche sopra distanze più modeste. Per cui, neppure il brillantissimo successo delle ultime prove transatlantiche toglierebbe completamente il dubbio manifestato in altra parte di questo libro. Ma, come già altre difficoltà, che sembravano invincibili, vennero felicemente tolte di mezzo, così c'è luogo a sperare, che presto sieno superate anche le ultime, e che il nuovo sistema di segnalazione a grandi distanze possa ricevere tutte quelle utili applicazioni, che da esso si aspettano.

B. Dessau.

INDICE DEGLI AUTORI CITATI

MEMORIE SCIENTIFICHE DEL PROF. A. RIGHI

(PRESSO LA DITTA N. ZANICHELLI LIBRAIO-EDITORE - BOLOGNA)

Sull' elettrometro ad induzione — Bologna, 1873 . . . . L. —. 80
Sulla composizione dei moti vibratori (con numerose tavole) — Bologna, 1873. . . . . » 6. 50
Ricerche di elettrostatica — Pisa, 1873 . . . . » 1. 30
Sul principio di Volta — Bologna, 1873. . . . . » 2. 50
Su alcuni punti controversi di elettrostatica — Bologna, 1873 . . . . » 1. 30
Ricerche sulle forze elettromotrici — Pisa, 1873 . . . . » 1. 30
Pile - Pile termo elettriche — Torino, 1874 . . . . » 2. 50
Sulla visione stereoscopica — Pisa, 1875 . . . . » 3. 75
Nouveaux théorèmes de Géométrie Projective — Paris, 1875 . . . . . » 1. 30
Sulla penetrazione delle cariche nei coibenti fissi ed in movimento, con applicazione alla teoria dei condensatori, dell' elettroforo, e delle macchine ad induzione — Bologna, 1875 . . . . » 2. 50
Sull' azione dei coibenti nelle esperienze relative all' elettricità di contatto e nelle coppie voltaiche — Firenze, 1876 . . . . » 1. 30
Alcuni metodi fotografici — 1876 . . . . » —. 75
Esperienze da lezione sui fenomeni di fosforescenza — 1876 . . . . . » —. 60
Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche (1.ª Memoria) — Bologna, 1876 . . . . » 2. 50
Esperienze col radiometro di Crookes — Bologna, 1877 . . . . » —. 80
Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche (2.ª Memoria) — Roma, 1877. . . . . » 4. 50
Ricerche sperimentali sull' interferenza della luce — Bologna, 1877 . » 3. 75
Sulla velocità della luce nei corpi trasparenti magnetizzati — Bologna, 1877 . . . . » 2. —
Sulla concentrazione di una soluzione magnetica ai poli di una calamita — Bologna, 1878 . . . . » —. 80
Il telefono che si ascolta a distanza — Firenze, 1878 . . . . » 1. 30

Descrizione ed uso di una macchina d' Holtz di costruzione speciale — Bologna,. 1879	L.	1. 30
Sulla dilatazione dei coibenti armati per effetto della carica — Bologna, 1879	»	2. —
Sui fenomeni elettrici delle bolle di Canton — Bologna, 1879	»	—. 80
Sopra un caso di polarità permanente dell' acciaio, inversa di quella dell' elica magnetizzante — Bologna, 1880.	»	—. 80
Sulle variazioni di lunghezza che accompagnano la magnetizzazione — Bologna, 1880	»	1. 30
Sulla dilatazione galvanica — Bologna, 1880	»	—. 60
Sulla formazione dell' albero di Marte — Bologna, 1880	»	1. 30
Sulla polarità permanente inversa dell' acciaio — Firenze, 1880	»	—. 60
Alcune esperienze coi nuovi tubi di Crookes e con tubi di Geissler — Bologna, 1880	»	—. 60
Contribuzione alla teoria della magnetizzazione dell' acciaio — Bologna, 1880	»	6. 50
Altre esperienze coi tubi di Crookes	»	—. 60
Le ombre elettriche (1.ª Memoria. — Bologna, 1881)	»	3. 75
Spostamenti e deformazioni delle scintille elettriche nell' aria — Bologna, 1881	»	1. —
Sulle figure elettriche in forma di anelli — Bologna, 1882	»	1. 30
Di alcune curiose conformazioni delle scintille elettriche nell' aria — Bologna, 1881	»	—. 60
Le ombre elettriche (2.ª Memoria) — Bologna, 1882	»	6. 50
Sui cambiamenti di lunghezza d' onda ottenuti colla rotazione di un polarizzatore, e sul fenomeno dei battimenti prodotti colle vibrazioni luminose — Bologna, 1883.	»	4. 50
Sul fenomeno di Hall.	»	—. 60
Ricerche sperimentali sul fenomeno di Hall particolarmente nel bismuto — Bologna, 1883	»	3. 75
Anelli di Newton in movimento — Bologna, 1883	»	—. 60
Influenza del calore e del magnetismo sulla resistenza elettrica del bismuto — Roma, 1884	»	4. 50
Intorno ad una nuova spiegazione del fenomeno di Hall — Roma, 1884	»	—. 70
Sulla velocità dei raggi polarizzati circolarmente nell' interno di un corpo dotato di potere rotatorio — Bologna, 1885	»	2. —
Ricerche sperimentali e teoriche intorno alla riflessione della luce polarizzata sul polo di una calamita (1.ª Memoria) — Roma, 1885	»	2. 50
Idem (Traduction française) — Paris, 1885.	»	2. 50
Sulla fotografia delle scintille elettriche nell' acqua — Roma, 1885	»	—. 70
Nuove ricerche sul fenomeno di Kerr — Roma, 1885	»	—. 70
Descrizione di un nuovo polarimetro — Bologna, 1885	»	1. 30
Ricerche sperimentali e teoriche intorno alla riflessione della luce polarizzata sul polo di una calamita (2.ª Memoria) — Roma, 1886	»	3. 75
Idem (Traduction française) — Paris, 1886	»	3. 75
Sulla calibrazione elettrica di un filo.	»	—. 70

Sulla causa della polarizzazione rotatoria magnetica — Roma, 1886 L. —. 70
Studi sulla polarizzazione rotatoria magnetica — Bologna, 1886 . . . » 3. 75
Ricerche sperimentali intorno alla riflessione della luce polarizzata sulla superficie equatoriale di una calamita — Roma, 1887. . . » 2. 50
Idem (Traduction française) — Paris, 1887. . . . . » 2. 50
Sui fenomeni che si producono colla sovrapposizione di due reticoli, e sopra alcune loro applicazioni — Venezia, 1887. . . . . » 3. 75
Sulla conducibilità termica del bismuto nel campo magnetico. . . . . » —. 70
Rotazione delle linee isotermiche del bismuto nel campo magnetico . » —. 70
Sulla forza elettromotrice delle coppie a liquido poco conduttore — Bologna, 1888 . . . . » 2. 50
Sulla conducibilità calorifica del bismuto posto in un campo magnetico — Roma, 1888. . . . . » 3. 50
Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. Nota I — Roma, 1888 . . . . » —. 80
Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. Nota II — Roma, 1888. . . . . » —. 80
Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. Nota III — Roma, 1888. . . . . » —. 80
Sur les phénomènes électriques produits par les rayon ultraviolets — Paris, 1888 . . . . » —. 70
Sulla forza elettromotrice del selenio — Padova, 1888. . . . . » 2. 50
Ueber die elektromotorische Kraft des Selens . . . . » 1. 30
Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. Nota IV — Roma, 1888 . . . . » —. 80
Sur quelques nouveaux phénomènes électriques produits par les radiations — Paris, 1888. . . . . » —. 80
Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. Nota V — Roma, 1888. . . . . » —. 80
Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. Nota VI — Roma, 1888 . . . . » —. 80
Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni (1.ª Memoria) — Bologna, 1888 . . . . » 2. 50
Nuove figure elettriche — Roma, 1888 . . . . » —. 80
Sulle coppie a selenio. . . . . » —. 70
Alcune esperienze colla scarica di una grande batteria — Roma, 1888 » —. 70
Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni (2.ª Memoria) — Venezia, 1888 . . . . » 2. 50
Sulle cariche elettriche generate dalle radiazioni — Roma, 1889. . » —. 70
Sulla misura delle forze elettromotrici di contatto dei metalli in vari gas, per mezzo delle radiazioni ultraviolette — Roma, 1889. . . » —. 80
Sopra un apparecchio stereoscopico — Roma, 1887 . . . . » 2. —
Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni (3.ª Memoria) — Venezia, 1889 . . . . » 3. 25
Sulle forze elementari elettromagnetiche ed elettrodinamiche (1.ª Memoria). — Bologna, 1889. . . . . » 3. 75

Sulla elettricità di contatto in diversi gaz — Bologna, 1890 . . . . . L. 1.50
Sulla convezione elettrica — Roma, 1890 . . . . » —. 80
Sulle traiettorie percorse nella convezione fotoelettrica, e su alcuni fenomeni elettrici nell' aria rarefatta — Roma, 1890 . . . . » —. 80
Erwiderung anf dem Bemerkungen des Hrn. W. Hallwachs. . . . . . » —. 70
Sulla convezione fotoelettrica e su altri fenomeni elettrici nell' aria rarefatta — Bologna, 1890. . . . . » 2. 50
Sulle forze elementari elettromagnetiche ed elettrodinamiche. (2.ª Mem.ª) — Bologna, 1890 . . . . » 3. 75
Sopra una specie di scintille elettriche, nelle quali la luminosità si propaga gradatamente da un elettrodo all'altro — Bologna, 1891 » 1. —
Sulle scintille costituite da masse luminose in moto — Roma, 1891 . » —. 80
Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto — Bologna, 1891. . . . . » 5. —
Sulla teoria dello stereoscopio — Bologna, 1892 . . . . » 1. 30
Di un nuovo apparecchio per l' interferenza delle onde sonore — Bologna, 1892 . . . . » 2. —
Sulla misura della differenza di fase prodotta dalle lamine cristalline e sulla costruzione delle lamine quarto d' onda e mezz' onda — Roma, 1892 . . . . » 1. 30
Appendice alle ricerche sperimentali intorno a certe scintille costituite da masse luminose in moto — Bologna, 1892 . . . . » —. 70
Sulla distribuzione dei potenziali presso il catodo. . . . . » —. 70
Sulla distribuzione sul potenziale nell' aria rarefatta percorsa dalla corrente elettrica — Bologna, 1893. . . . . » 2. 50
Su alcune disposizioni sperimentali per la dimostrazione e lo studio delle ondulazioni elettriche di Hertz — Roma, 1893 . . . . » 1. 20
Alcune esperienze con oscillazioni di Hertz di piccola lunghezza d' onda — Roma, 1893 . . . . » 1. 20
Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari — Bologna, 1894 . . . . » 1. 30
Di un nuovo elettrometro idiostatico assai sensibile — Bologna, 1894 » 2. 50
Sulla preparazione di lamine sottili di vetro presentanti gli anelli d' interferenza — Bologna, 1894. . . . . » 1. 30
Sulle oscillazioni elettriche a piccola lunghezza d' onda e sul loro impiego nella produzione di fenomeni analoghi ai principali fenomeni dell' Ottica — Bologna, 1894 . . . . » 5. —
Sulle onde elettromagnetiche generate da due piccole oscillazioni elettriche ortogonali, oppure per mezzo di una rotazione uniforme — Bologna, 1894 . . . . » 2. 50
Sul modo nel quale si producono le lunghe scintille alla superficie dell' acqua — Roma, 1895 . . . . » 2. —
Nuove esperienze sulle scintille elettriche costituite da masse luminose in moto — Bologna, 1895 . . . . » 4. 50
Sull' allungamento di una scintilla prodotta dal moto degli elettrodi — Bologna, 1895 . . . . » 1. 30

Sulla doppia rifrazione dei raggi elettrici . . . . L. —. 70
Sulla doppia rifrazione dei raggi elettrici particolarmente nel gesso — Roma, 1895. . . . . » —. 70
Ueber die Doppelbrechung der electrischen Strahlung — Leipzig, 1895 » —. 70
Sulla produzione di fenomeni elettrici per mezzo dei raggi di Röntgen — Bologna, 1896 . . . . » —. 90
Phénomènes électriques produits par les rayons de Röntgen — Paris, 1896. . . . . » —. 90
Sulla dispersione dell' elettricità prodotta dai raggi di Röntgen. — Roma, 1896 . . . . » —. 80
Sulla produzione delle ombre di Röntgen per mezzo della dispersione elettrica — Roma, 1896 . . . . » —. 90
Effects électriques des rayons de Röntgen — Paris, 1896. . . . . . . » —. 80
Sulla influenza della pressione e natura del gas ambiente nella dispersione elettrica prodotta dai raggi di Röntgen — Bologna, 1896 » —. 90
Observations sur une comunication de MM. Benoist et Hurmuzescu — Paris, 1896 . . . . » —. 80
Observations à la réponse de MM. Benoist et Hurmuzescu — Paris, 1896 » —. 80
Sui tubi produttori dei raggi X — Roma, 1896 . . . . » —. 70
Nuovi studi sulla dispersione elettrica prodotta dai raggi di Röntgen — Roma, 1896. . . . . » —. 90
Sul trasporto dell' elettricità secondo le linee di forza prodotte dai raggi di Röntgen — Roma, 1896 . . . . » —. 90
Sur la convection suivant les lignes de force produite par les rayons de Röntgen — Paris, 1896. . . . . » —. 80
Sulla propagazione dell' elettricità nei gas attraversati dai raggi di Röntgen — Bologna, 1896. . . . . » 3. 75
Sull' elissoide di polarizzazione relativo alle onde elettromagnetiche nella selenite — Roma, 1897 . . . . » 1. 20
Sull' assorbimento delle onde elettromagnetiche — Roma, 1897. . . . » —. 90
Sulle onde secondarie dei dielettrici — Bologna, 1897. . . . . » 1. 30
Sugli indici di rifrazione principali del gesso per le onde elettromagnetiche — Roma, 1897 . . . . » —. 90
Descrizione di una disposizione sperimentale assai semplice per la misura di spostamenti rettilinei piccolissimi — Bologna, 1897. . » —. 90
Sull' orientazione di un disco di selenite in un campo elettrico uniforme — Bologna, 1897 . . . . » —. 90
Sulla non penetrazione delle onde elettriche nello spazio racchiuso da una lamina metallica — Roma, 1897. . . . . » —. 70
L' Optique des oscillations électriques — Genève, 1897 . . . . » 2, 20
Nuovo indicatore di onde elettriche — Roma, 1897 . . . . » —. 90
Descrizione di un nuovo apparecchio per la composizione delle oscillazioni di due pendoli — Bologna, 1898 . . . . » 1. 30
Sull' interpretazione cinematica del fenomeno di Zeeman — Roma, 1898 » —. 90
Sulla sensibilità alle onde elettriche di certi tubi da scariche. . . . . » 1. 30

Di una nuova forma data all' esperienza di Lecher — Bologna, 1898 L. —. 90
Di un nuovo metodo sperimentale per lo studio dell' assorbimento della luce nel campo magnetico (1.ª Nota) — Roma, 1898. . . » 1. 20
Sur l' absorption de la lumière produite par un corps placé dans un champ magnétique (1.ª Note) — Paris, 1898 . . . . » 1. 20
Uber die Absorption des Lichts durch einen in einen Magnetfeld befindlichen Körper (1. Notice) — Berlin, 1898 . . . . » 1. 20
Di un nuovo metodo per lo studio dell' assorbimento della luce nel campo magnetico (2.ª Nota) — Roma, 1897 . . . . » 1. 20
Idem traduzione francese . . . . » 1. 20
Idem traduzione tedesca . . . . » 1. 20
Sopra un curioso fenomeno osservato facendo passare una corrente elettrica in un tubo a gaz rarefatto — Bologna, 1899. . . . . . » —. 90
Sul potere rotatorio magnetico del cloro — Bologna, 1899 . . . . . . » —. 90
Intorno alla questione della produzione in un campo magnetico per opera di un raggio luminoso polarizzato circolarmente — Roma, 1899 » —. 90
Sull' assorbimento della luce per parte di un gas posto nel campo magnetico — Bologna, 1899. . . . . » 2. 60
Idem traduzione francese . . . . » 2. 60
Volta e la pila — Lettura fatta in Como il 18 settembre 1899 inaugurandosi il primo congresso nazionale di elettricità — Como, 1899 » 3. 75
Sul fenomeno di Zeeman nel caso generale di un raggio luminoso comunque inclinato sulla direzione del campo magnetico. . . . . » 3. 75
Sur le phénomène de Zeeman etc. . . . . » 1. 40
Uber das Zeemansche Phänomen ecc. » 1. 40
Les ondes hertziennes — Rapport présenté au Congrès international de physique réuni à Paris en 1900 — Paris, 1900 . . . . » 2. 50
Sur les ondes électromagnetiques d' un ion vibrant — Harlem, 1900 » 1. 40
Sui campi elettromagnetici, e particolarmente su quelli creati da cariche elettriche o da poli magnetici in movimento — Bologna, 1901 » 4. —
Sulla questione del campo magnetico generato dalla convezione elettrica e su altre analoghe questioni — Pisa, 1901. . . . . » 4. —
Ancora sulla questione del campo magnetico generato dalla convezione elettrica — Bologna, 1902. » 1. 40
Sui fenemeni acustici dei condensatori — Bologna, 1902 . . . . » 1. 40
Sulla ionizzazione dell' aria prodotta da una punta elettrizzata — Bologna, 1903 . . . . » 2. —